

AMTLICHE MATERIALPRÜFANSTALT FÜR DAS BAUWESEN

INSTITUT FÜR BAUSTOFFE, MASSIVBAU UND BRANDSCHUTZ

TECHNISCHE UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG

Instandsetzen und Schützen von Beton- oberflächen mit Anstrichen und kunst- harzmodifizierten Mörteln

von

K. Kordina

J. Neisecke

K. Landwehrs

Braunschweig, 1986

**Schlußbericht zu Teil II des vom Bundesminister für Raumordnung,
Bauwesen und Städtebau geförderten Forschungsvorhabens,
Az.: B I 5 - 800177 - 35**

Inhaltsverzeichnis

- 1. Allgemeines**
- 2. Ursachen typischer Betonoberflächenschäden infolge Bewehrungskorrosion**
 - 2.1 Korrosionsschutz von Bewehrungsstahl in Beton
 - 2.2 Verlust des Korrosionsschutzes
 - 2.3 Schadensursachen an Betonoberflächen
- 3. Verfahren und Werkstoffe zum Schutz und zur Instandsetzung von Betonoberflächen**
 - 3.1 Vorbereiten des Untergrundes
 - 3.2 Korrosionsschutz freigelegter Bewehrung
 - 3.3 Auffüllen von Fehlstellen und/oder Egalisieren der Betonoberfläche
 - 3.4 Betonoberflächen-Schutzanstriche
- 4. Probekörper für die Freibewitterung**
 - 4.1 Betonplatten mit künstlichen Fehlstellen
 - 4.2 Betonoberflächen-Schutzanstriche
 - 4.3 Betonoberflächen-Instandsetzungssysteme
 - 4.4 Freibewitterung
- 5. Ergebnisse der Freibewitterung**
 - 5.1 Betonoberflächen-Schutzanstriche
 - 5.2 Betonoberflächen-Instandsetzungssysteme
- 6. Zusammenfassung**
- 7. Fotodokumentation der Untersuchungsergebnisse**

1. Allgemeines

Aufgrund stetig zunehmender Oberflächenschäden an Betonbauwerken in den 70-iger Jahren beantragte das Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen im Jahre 1977 ein umfangreiches Forschungsprogramm beim Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, das sich speziell mit Schutzmaßnahmen und der Instandsetzung von derartigen Schäden befassen sollte. Finanzielle Engpässe erlaubten es der fördernden Institution jedoch dann nicht, das Forschungsvorhaben im geplanten Umfang zu bewilligen. Insgesamt konnte nur ein Drittel der beantragten Fördersumme bereitgestellt werden. Diese finanziell völlig andere Ausgangssituation veranlaßte das Institut seinerzeit, das Forschungsvorhaben zwar in der ursprünglichen Thematik zu belassen, Ziele und Schwerpunkte jedoch wie folgt zu ändern:

- 1) Sammlung von Erfahrungen über Art und Erfolg von Instandsetzungen oder Schutzmaßnahmen an Betonoberflächen
- 2) Auslagerung und Beobachtung von Betonprobekörpern, deren Oberflächen mit den üblichen Schutz- und Instandsetzungswerkstoffen behandelt worden waren. Es war von vornherein klar, daß diesem zweiten Teilaspekt - wenn überhaupt - nur dann nachgegangen werden konnte, sofern nach der Bearbeitung der unter 1) genannten Aufgabe noch Restmittel des bewilligten Förderbetrages zur Verfügung standen.

In den Jahren 1977 - 1981 wurden daher unter sparsamstem Einsatz der Fördermittel - möglichst in Verbindung mit anderen Aufgaben des Institutes - Betonbauwerke besucht und inspiziert, deren Oberflächen infolge Schäden oder Herstellungsfehler vorbeugend geschützt bzw. instandgesetzt werden mußten. Dabei wurde angestrebt, nur Maßnahmen zu besichtigen, die wenigstens 5 - 10 Jahre alt waren. Der Bautenschutzmittelindustrie sei an dieser Stelle - ebenso wie den verschiedensten öffentlichen und privaten Bauherren - nochmals für die Nennung entsprechender Bauwerke und die Möglichkeit zu deren Besichtigung gedankt.

Die Ergebnisse dieser Erhebung wurden im Jahre 1981 als Forschungsbericht, Teil I, vorgelegt. Neben seinem redaktionellen Beitrag enthält dieser Teil I einen Bildanhang mit 117 Fotos. Das Interesse an diesem Bericht war dann überraschend groß, wie die überaus zahlreichen Anfragen am bearbeitenden Institut sowie beim Informationszentrum Raum und Bau (IRB) in Stuttgart zeigten, wo er unter der Berichts-Nr. F 1720 verlegt wird. In der Schweiz erschien zwischenzeitlich auch eine vollständige Ausgabe in französischer Sprache. Zusammenfassend wurden die Ergebnisse in der Zeitschrift Betonwerk + Fertigteiltechnik (1982) Heft 3, 4 und 5 veröffentlicht (Kordina, K., Neisecke, J., Reparatur und Schutz zerstörter oder nicht einwandfrei ausgeführter Betonoberflächen.

Mit den nach Abschluß von Teil I noch vorhandenen Restmitteln der Förderungssumme wurden dann unter Inanspruchnahme von Eigenleistungen des Instituts für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der TU-Braunschweig, Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen, Betonprobekörper mit unterschiedlichen Schutzanstrichen bzw. Instandsetzungssystemen versehen, einer mehrjährigen Freibewitterung ausgesetzt und beobachtet. Über die Ergebnisse dieses zweiten Teilaspektes der Forschungsarbeit wird hier berichtet. Des besseren Verständnisses wegen wird in den nachfolgenden Abschnitten zunächst

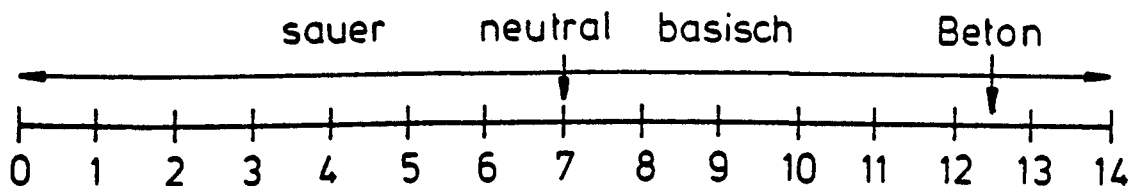
- über Ursachen typischer Betonoberflächenschäden (Abschnitt 2) sowie
- über Verfahren und Werkstoffe zum Schutz und zur Instandsetzung von Betonoberflächen (Abschnitt 3)

berichtet, ehe in Abschnitt 4 die Probekörper und Werkstoffe bzw. in Abschnitt 5 die Ergebnisse der Freibewitterung dieser Probekörper beschrieben werden. In Abschnitt 6 wird das Gesamtergebnis dann als Zusammenfassung kurz dargestellt. Den zu Abschnitt 5 gehörenden Bildanhang enthält abschließend Abschnitt 7.

2. Ursachen typischer Betonoberflächenschäden infolge Bewehrungskorrosion

2.1 Korrosionsschutz von Bewehrungsstahl in Beton

Normaler Bewehrungsstahl ist in der freien Atmosphäre nicht beständig, d. h. unter Einfluß von Feuchte (r. F. > 60 %) und Sauerstoff wandelt sich der Stahl (Fe) wieder in Rost (Fe_2O_3) um. Die Geschwindigkeit der Eisenauflösung (Korrosion) hängt dabei auch ganz wesentlich vom sog. "pH-Wert" der umgebenden Feuchte ab. Dieser pH-Wert ist eine Maßzahl dafür, wie "sauer" beispielsweise eine Flüssigkeit ist, bzw. es läßt sich mit dem pH-Wert angeben, ob eine Flüssigkeit eine starke/schwache Säure oder eine starke/schwache Lauge (Base) ist.



Aus der pH-Werte-Skala geht hervor, daß Beton von seiner Zusammensetzung her eine vergleichsweise starke Base ist (pH ~ 12,5).

Stahl bzw. Eisen zeigen bei pH-Werten > 10 eine nur geringe oder gar keine Korrosionsaktivität, so daß Bewehrungsstähle in Beton mit einem pH-Wert ~ 12,5 nicht korrodieren (Passivität durch pH-Wert 12,5). Der Beton stellt daher aufgrund seiner ihm eigenen, hohen Alkalität mit einem pH-Wert um 12,5 einen "natürlichen" Korrosionsschutz für die eingebauten Bewehrungsstähle dar, obwohl Sauerstoff und Feuchtigkeit vorhanden sind.

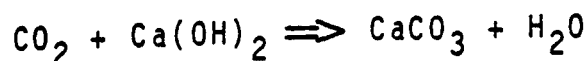
Ursache für den hohen pH-Wert ist das in der Betonporenflüssigkeit des Betons gelöste Calciumhydroxid ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) aus dem Erhärtungsprozeß des Zements.

2.2 Verlust des Korrosionsschutzes

Die Aufhebung des Korrosionsschutzes der Bewehrung im Beton hat in der Regel die nachfolgenden Ursachen:

2.2.1 Karbonatisierung

Durch die gegebene Betonporosität dringt die Kohlensäure (Kohlendioxid, CO_2) der Luft (natürlicher CO_2 -Gehalt der Atmosphäre etwa 0,03 Vol.-%, durch Industrie max. 0,06 Vol.-%) in den Beton ein. Die Kohlensäure CO_2 verbindet sich dabei mit dem Calciumhydroxid $\text{Ca}(\text{OH})_2$ der Betonporenflüssigkeit zu neutralem Kalkstein CaCO_3 unter gleichzeitiger Freisetzung von Wasser:



Durch die Bildung des neutralen Kalksteins unter Verbrauch von $\text{Ca}(\text{OH})_2$ aus der Porenflüssigkeit sinkt deren pH-Wert auf Werte unter 10, so daß dann in diesen Bereichen kein Korrosionsschutz mehr für den Bewehrungsstahl besteht. Diesen Prozeß (Bildung von Kalkstein unter Einwirkung des natürlichen CO_2 -Gehalts der Luft mit dem gleichzeitigen Absinken des pH-Wertes unter 10) nennt man die "Karbonatisierung" des Betons.

Die Karbonatisierung ist ein ganz natürlicher und normaler Prozeß, bei dem der sog. "saure Regen" aufgrund von SO_2 -Abgasen eine vernachlässigbare Rolle spielt. Sie stellt aus der Sicht des Betons auch keine Schädigung dar, hebt aber den Korrosionsschutz für den Bewehrungsstahl (s. o.) auf. Es ist bekannt, daß bei normgerecht hergestelltem Beton die Karbonatisierung sehr langsam fortschreitet, dabei im Zeitraum von 10 - 20 Jahren je nach Betongüte Tiefen von 10 mm - max. 15 mm erreicht und dann zum Stehen kommt.

Um den Korrosionsschutz der Bewehrungsstähle zu gewährleisten, fordert daher die DIN 1045 Mindestbetonüberdeckungen der Bewehrungsstähle - je nach Betongüte - von 15 mm bis 20 mm. Auf diese Weise wird gewährleistet, daß die Karbonatisierung den eingebau-

ten Bewehrungsstahl nicht erreicht, so daß die Stähle dauerhaft vor Korrosion geschützt sind.

2.2.2 Eindringen von Schadstoffen

Schadstoffe, die am Stahl korrosionsauslösend bzw. -fördernd wirken, können ebenfalls durch die Poren eindringen und unabhängig von der Karbonatisierung zu Korrosion am Stahl führen. Von Bedeutung als Schadstoff sind hier in erster Linie die Chloride zu nennen, die z. B. als Tausalzölösung oder über Brandgase bei PVC-Bränden in den Beton eindringen können. Die Chloride wirken stark korrosionsfördernd, da sie den natürlichen Korrosionsschutz des Betons (pH-Wert ~ 12,5, s. o.) aufheben, ohne den pH-Wert zu beeinflussen. Es kommt zu Narbenkorrosion (punktuellem Angriff) und zu flächig abtragender Korrosion, je nach Cl-Gehalt und/oder -verteilung.

2.2.3 Risse im Beton

Durch Risse im Beton, hervorgerufen durch Abbindeprozesse oder Überlastung, können korrosionsfördernde Schadstoffe bzw. das die Karbonatisierung auslösende CO_2 unmittelbar bis in die Stahlumgebung vordringen. Der Korrosionsschutz wird durch dieses Vordringen dann naturgemäß nur unmittelbar am Riß aufgehoben, u. U. kommt es dabei aber zum völligen Durchrosten des Stahls. Zusammenhänge zwischen Rißweiten und Umgebungsbedingungen finden sich z. B. bei Falkner, DAfStb - Heft 208 oder Leonhardt, Vorlesungen über Massivbau, Teil IV.

Zusammenfassend wird in Abbildung 1 dargestellt, welche drei Voraussetzungen für die Korrosion eines Bewehrungsstahles im Beton gleichzeitig erfüllt sein müssen. Entfällt nur eine dieser drei notwendigen Bedingungen, findet die Korrosion nicht statt. Im Zuge von Schutz- und/oder Instandsetzungsmaßnahmen muß daher angestrebt werden, wenigstens eine, möglichst mehrere, dieser Voraussetzungen zu unterbinden. In der Praxis werden das in der Regel

die Bedingung b), d. h. Trockenlegen des Betons im Bereich der äußeren Bewehrungsstähe, oder c) d. h. Auftragen einer Karbonatisierungsbremse (Anstrich) sein. Die Bedingung a) läßt sich ggf. durch einen O_2 -dichten Anstrich auf dem Stahl selbst unterbinden.

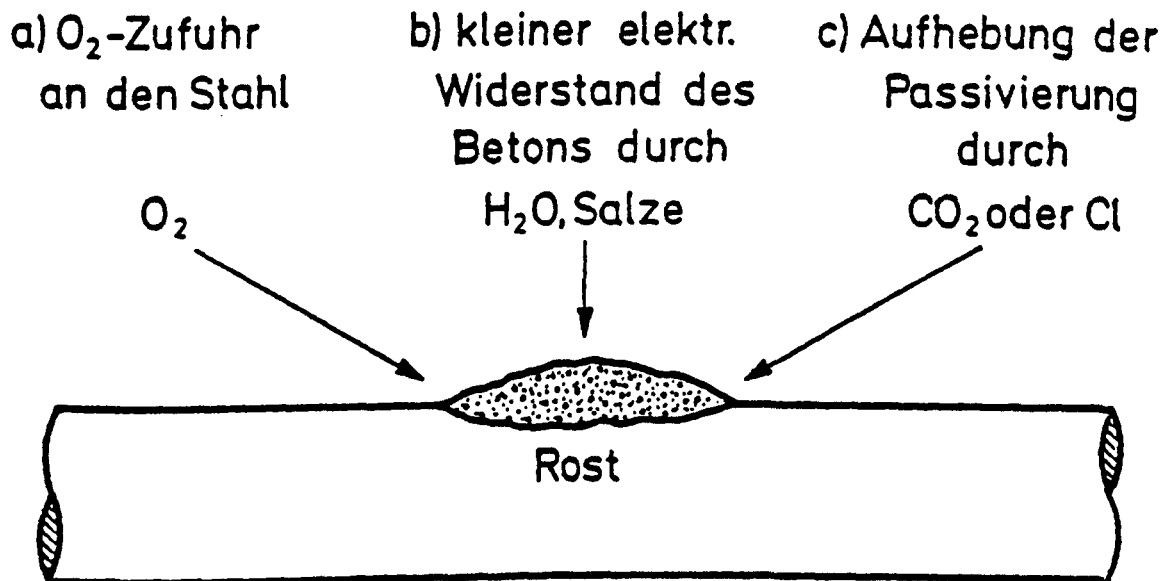


Abb. 1 Gleichzeitig zu erfüllende Voraussetzungen für die Korrosion eines Bewehrungsstahles im Beton

2.3 Schadensursachen an Betonoberflächen

Anhand der vorstehenden Ausführungen ergeben sich für die typischen Oberflächenschäden am Beton folgende Ursachen:

a) Unzureichende Betondeckung über der Bewehrung ($\leq 5 - 10$ mm)

Hier wird der nicht ausreichend überdeckte Bewehrungsstahl von der "normal" ablaufenden Karbonatisierung erreicht. In einem Zeitraum von in der Regel weniger als 10 Jahren (je nach Dicke der Betonüberdeckung) sinkt der pH-Wert am Stahl unter 10. Der Korrosionsschutz ist damit aufgehoben. Es bildet sich Rost, der durch seine Volumenvergrößerung die überdeckende Betonschicht absprengt.

b) Unzureichende Betongqualität

Schlecht ausgeführter Beton (in der Regel hier zu hohe Porosität und Verdichtungsmängel an der Oberfläche) führen zu rascherem Fortschritt der Karbonatisierung in größere Tiefen, so daß dann auch normgerecht überdeckte Bewehrungsstähle ihren Korrosionsschutz verlieren. Auch hier kommt es dann zu Rostbildung am Stahl mit Absprengung der Betonüberdeckung.

Die Erfahrung hat gezeigt, daß die Mehrzahl der Schäden im Hochbau durch Überdeckungsmängel hervorgerufen wird. Durch sorgfältige Einhaltung der Mindestüberdeckung (Außenbauteile 20 mm, besser 30 mm) in Planung und Ausführung läßt sich hier der größte Teil aller Abplatzschäden durch rostende Bewehrung (Fassaden, Fertigteile, Brüstungen usw.) vermeiden.

An dieser Stelle sei zusätzlich festgehalten, daß es bisher noch keine wirksamen zerstörungsfreien Verfahren gibt, die nachweislich eine bereits erfolgte Karbonatisierung wieder rückgängig machen können. Der aufgehobene Korrosionsschutz muß daher dann durch zusätzliche Schutzmaßnahmen (z. B. Beschichtungen) wieder hergestellt werden.

3. Verfahren und Werkstoffe zum Schutz und zur Instandsetzung von Betonoberflächen

In diesem Abschnitt werden diejenigen Schutz- und Reparaturverfahren einschließlich der zugehörigen Werkstoffgruppen vorgestellt, die derzeit in der Regel eingesetzt werden und von denen auch die größte Aussicht auf Erfolg erwartet werden darf. Problematisch ist nach wie vor, daß anerkannte Regelungen und Prüfvorschriften zum Nachweis der erforderlichen Güteeigenschaften der Werkstoffe oder Schutzsysteme erst in den Anfängen stecken, und daß zusätzlich - infolge intensiver Weiterentwicklung und Verbesserung - laufend neue Werkstoffe auf den Markt gelangen. Für Bauherren oder Verarbeitungsfirmen besteht daher ebenso wie für den Planer die Frage nach der Auswahl einer der Aufgabe und dem Objekt jeweils am besten angepaßten Maßnahme einschließlich der einzusetzenden Reparatur- und Schutzwerkstoffe.

Die durchzuführenden Maßnahmen am Bauwerk gliedern sich in der Regel in die aufeinanderfolgenden Arbeitsschritte

- Diagnose und Planung,
- Vorbereiten des Untergrundes,
- Korrosionsschutz freigelegter Bewehrung,
- Auffüllen von Fehlstellen und/oder Egalisieren der Betonoberfläche,
- Oberflächenschutz.

Die einzelnen Arbeitsschritte werden - abgesehen von der Diagnose - nachfolgend getrennt behandelt, wobei auch die jeweils erforderlichen Arbeitsmittel und einsetzbaren Werkstoffe genannt werden. Alle Angaben beziehen sich in der Regel auf Schutz- und Instandsetzungsmaßnahmen im Hochbau, speziell also Bauwerksfassaden und Sichtflächen aus Stahlbeton.

3.1 Vorbereiten des Untergrundes

Am wirkungsvollsten ist das unbedingt nötige Reinigen der Betonflächen durch Sandstrahlen oder Wasser-Sandstrahlen (Hochdruck!) zu erreichen. Damit wird ein saugfähiger, fester und rauher Untergrund geschaffen, auf dem sich nachfolgende Schutzbeschichtungen fest verankern können. Vor dem Sandstrahlen werden alle lockeren Betonoberflächenteile (vornehmlich über rostenden Eisen) mit leichten maschinellen Geräten oder mit Hammer und Meißel manuell entfernt.

Dieser Arbeitsschritt führt in der Regel zu starker Schmutz- und Lärmbelästigung. Er erfordert daher auch sorgfältige Vorplanung und Vorbereitung, beispielsweise in Form von mit Planen abgehängten Gerüsten. Von der Güte der Oberfläche nach den Strahlarbeiten kann man sich zusätzlich zur optischen Beurteilung noch durch Haftzugversuche überzeugen.

Bei der maschinellen oder manuellen Entfernung des Betons ist entscheidend, ob der Beton bereits gelockert oder über rostender Bewehrung gerissen ist. Festsitzenden, ungerissenen Beton nur deswegen abzuschlagen, weil er karbonatisiert ist, ist selten überzeugend zu begründen.

3.2 Korrosionsschutz freigelegter Bewehrung

Freigelegte Stähle erhalten beim Sandstrahlen nach 3.1 einen Reinheitsgrad Sa 2 1/2 nach DIN 55 928, Teil 4. Unmittelbar danach werden sie in der Regel zweifach mit einer Beschichtung vor weiterer Korrosion geschützt. Bei EP-Harzen wird in den Zweitanstrich häufig sog. feinkörniger (0,4 - 0,7 mm Ø) Haftquarz eingestreut. Anstrich und Haftquarze sind besonders formulierte Materialien, die als entsprechende "Systembausteine" in den heute handelsüblichen "Betonoberflächenschutz- und Reparatursystemen" enthalten sind.

Als Korrosionsschutzanstriche werden lösungsmittelarme oder lösungsmittelfreie Epoxidharze angeboten, die unterschiedlich gefüllt sind. Um neben den widerstandsfähigen Eigenschaften der EP-Harze zusätzlichen Schutz zu bieten, werden häufig sog. Aktivpigmente, beispielsweise spezielle Zemente als Füllstoffe zugesetzt. Daneben gibt es aber auch Systeme, die für den Korrosionsschutz mit Zement gefüllte Dispersionen einsetzen.

3.3 Auffüllen von Fehlstellen und/oder Egalisieren der Betonoberfläche

Betonausbrüche, Lunker usw. werden nach Abschluß der Arbeiten zu den Punkten 3.1 und 3.2 mit zementgebundenen, kunststoffmodifizierten Fertigmörteln oder -spachteln verschlossen bzw. geglättet. Die Mörtel werden meistens zusammen mit einer ebenfalls zementgebundenen, kunststoffmodifizierten Haftbrücke verarbeitet. Spachtel oder Mörtel (PCC-Mörtel) werden jeweils mit entsprechender Körnung angeboten. Diese Massen sind in der Regel Bestandteile der bereits genannten "Betonoberflächenreparatur- und Schutzsysteme". Zur erfolgreichen Verarbeitung muß bei den Mörteln und Spachtelmassen insbesondere auf genaue Einhaltung der Misch- und Verarbeitungsvorschriften geachtet werden, um Folgeschäden zu vermeiden.

Häufig sind die Bauwerksoberflächen insgesamt so rauh (Verwitterung, Herstellungsfehler, Sandstrahlen), daß auch nach dem Ausfüllen aller Fehlstellen ein vollflächiger Überzug mit den o. g. Spachtelmassen erforderlich wird. Diese Überzüge sollten in der Regel aber nicht dicker als 3 - 4 mm sein. Eine glatte, in sich geschlossene Oberfläche ist zudem erste, unabdingbare Voraussetzung für Dauerhaftigkeit und Wirksamkeit nachfolgender Oberflächenschutzmaßnahmen durch Anstriche oder Beschichtungen.

Neben den o. g. zementgebundenen und kunststoffmodifizierten Fertigmörteln oder -spachteln werden für das Auffüllen von Fehlstellen oder das großflächige Glätten gelegentlich auch epoxidharzgebundene Mörtel eingesetzt. Für den Einsatz dieser Werkstoffe müssen in der Regel besondere Gründe vorliegen.

3.4 Betonoberflächen-Schutzanstriche

Oberflächenschutzanstriche haben neben der Aufgabe, das reparierte Bauwerk (Fassade, Sichtbetonfläche) wieder in einen optisch ansprechenden Zustand zu versetzen, auch eine ganz wesentliche Schutzfunktion zu erfüllen. Sie sollen auf der einen Seite eine Sperre gegen eindringendes Wasser und Schadgase darstellen, auf der anderen Seite die Austrocknung des Betons bzw. die Wasserdampfdiffusion von innen nach außen möglichst nicht behindern.

Hierfür wird inzwischen auf dem Markt eine verwirrende Fülle von Produkten angeboten. Diese Produkte sind häufig von der Rezeptur her ähnlich oder identisch, was in der Regel aber nur schwer oder überhaupt nicht zu erkennen ist.

Bei den heute üblichen Betonoberflächenreparatur- und Schutzmaßnahmen wird in der Mehrzahl der Fälle beim Oberflächenschutz wie folgt vorgegangen:

Zunächst werden die nach den Punkten 3.1 - 3.3 vorbereiteten Betonoberflächen durch Auftragen von Siloxangrundierungen (oligomere Siloxane) hydrophobiert. Durch diese Maßnahme wird der Beton wasserabweisend, wobei sich dieser Effekt nicht nur auf die Oberfläche, sondern - je nach Porosität des Betons - auch in größere Tiefen und in feine Risse erstreckt. Die Wasserdampfdiffusion (Austrocknung) wird dadurch nicht behindert. Von besonderem Vorteil ist aber, daß Wasser durch Beschädigungen des Deckanstrichs nicht mehr hinter diesen gelangen kann. Die Möglichkeit einer Anstrichzerstörung durch nachträglich hinterlaufendes Wasser ist dadurch erheblich reduziert. Diese Hydrophobierung ist allein aber noch keine vollständige Schutzmaßnahme, da sie nur Wasser, nicht aber Schadgase (z. B. CO_2) am Eindringen hindert!!

Als Deckanstriche werden dann zweifache Beschichtungen auf der Basis Acrylharz eingesetzt. Diese lösemittelhaltigen Anstriche schützen vor eindringendem Wasser und Schadgasen aus der Luft, behindern die Austrocknung in der Regel jedoch nicht. Ebenso wie die vorgenannten Werkstoffe sind diese Anstriche Bestandteile der

"Betonoberflächenreparatur- und Schutzsysteme". Aus Gründen der Dauerhaftigkeit empfehlen sich für Deckanstriche möglichst helle Farben, wodurch die Temperaturbeanspruchung von Beschichtung bzw. Bauteilen auf ein Minimum reduziert wird.

Eine weitere große Gruppe von Schutzanstrichen stellen die sog. Dispersionsfarben dar. Vorteilhaft ist hier verarbeitungstechnisch, daß sie keine Lösungsmittel enthalten. Ihre Haftung am Untergrund ist häufig jedoch geringer als die der lösemittelhaltigen Systeme. Gegenüber den lösemittelhaltigen Systemen haben sie aber einen geringeren Wasserdampfdiffusionswiderstand, was naturgemäß der Austrocknung des Bauteils sehr entgegenkommt. Die Sperrwirkung gegenüber CO_2 ist hoch.

Bei der Auswahl eines Schutzanstrichs stehen daher die Kennwerte

- Wasserdichtheit
- Wasserdampfdurchlässigkeit
- Schadgassperre

im Vordergrund (Prüfzeugnisse!). Von besonderer Bedeutung ist natürlich auch die Haltbarkeit (Dauerhaftigkeit), die man sich ggf. durch Referenzen nachweisen lassen kann.

Von besonderer Problematik ist die Aufgabenstellung, Risse mittels Anstrichen zu überbrücken. Auf diese Frage kann hier nur ganz am Rande eingegangen werden. In der Regel sind Bewegungsrisse auf Dauer mit üblichen Fassaden- oder Schutzanstrichen nicht sicher zu überbrücken. Hier empfiehlt sich, die Fuge anzulegen (dauerelastisch), die Bauwerk oder Bauteil verlangen. Eine längerfristige Überbrückung feiner Oberflächenschwindrisse an Fassaden oder Sichtbetonflächen erscheint aber mit hochelastisch und verformbar eingestellten Dispersionsanstrichen (Mischpolymerisat und/oder Acrylharz) möglich, die hinsichtlich Wasser-, Wasserdampf- und Schadgasdurchlässigkeit die Anforderungen erfüllen.

Abschließend soll darauf hingewiesen werden, daß jede Betonoberflächenbeschichtung im Rahmen von Reparatur- oder Schutzmaßnahmen nur eine begrenzte Lebensdauer hat. Wie bei jedem Farbanstrich ganz allgemein ergibt sich daraus die Notwendigkeit einer Wartung (gelegentliche Kontrolle auf evtl. auftretende, kleinere und einfach auszubessernde Schäden) und ggf. nach Jahren auch einer ganzflächigen Überarbeitung. Aus wirtschaftlichen Erwägungen empfiehlt es sich daher, Betonoberflächen in der Regel nur dann zu beschichten, wenn zwingende Gründe wie unzureichende Überdeckung, besondere Karbonatisierungsneigung, erhöhte Beanspruchungen oder ggf. auch optische Mängel vorliegen.

Zusammenfassend zu 3.1 - 3.4 sind in Abbildung 2 die einzelnen Stufen der üblichen Oberflächeninstandsetzung grafisch dargestellt.

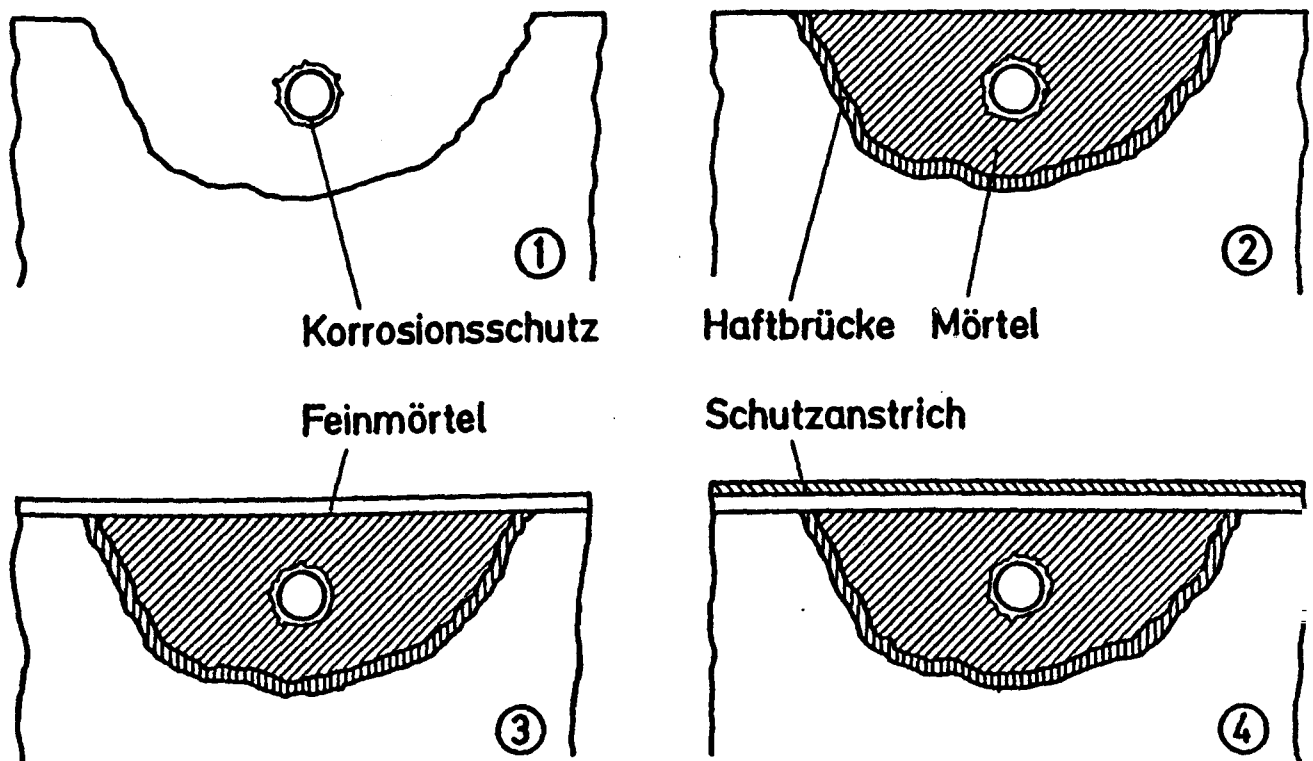


Abb. 2 Arbeitsschritte einer üblichen Betonoberflächen-Instandsetzung nach Schäden infolge korrodierender Bewehrung

Die Erfahrung hat gezeigt, daß neben der Qualität der eingesetzten Werkstoffe die Dauerhaftigkeit der Reparatur- und Schutzmaßnahmen ganz entscheidend von der Sorgfalt und der Erfahrung des Verarbeiters abhängt. Es wird daher empfohlen, nur solche Verarbeiter mit den geschilderten Schutzmaßnahmen zu beauftragen, die geprüfte Werkstoffsysteme verarbeiten und selber ihre besondere Befähigung zu derartigen Arbeiten durch Referenzobjekte und die heute üblichen Nachweise eines erfolgreichen Lehrgangabschlusses entsprechender Ausbildungskurse belegen können.

4. Probekörper für die Freibewitterung

4.1 Betonplatten mit künstlichen Fehlstellen

Als Grundkörper für nachfolgende Schutz- bzw. Instandsetzungsmaßnahmen wurden Betonplatten der Abmessungen 50 cm x 50 cm, 8 cm dick, stehend in Batterieschalung betoniert. Als Beton wurde ein B 25 angestrebt, der wie folgt hergestellt wurde:

- PZ 35 F (300 kg/m³)
- Wasserzementwert 0,55
- Zuschlaggemisch

0/1 mm	0/2 mm	2/8 mm	8/16 mm
10 %	15 %	40 %	35 %
- Ausbreitmaß a = 40 cm
- Druckfestigkeit (15 x 15 x 15 cm³ - Würfel, 7 Tage alt)
38 N/mm², 38 N/mm², 37 N/mm²
- Rohdichte der 7 Tage alten Würfel 2,43 kg/dm³.

Insgesamt wurden 60 derartige Platten betoniert, die aufgrund ihrer Oberflächenstruktur zwei unterschiedliche Serien bildeten. 30 Platten waren durch Einsatz einer Brettschalung (gehobelte Bretter, 10 cm breit), weitere 30 waren mittels glatter Schaltafeln (Holz, z. B. Betoplan) hergestellt.

In alle Tafeln wurden 2 Matten (Stahl-Ø in beiden Richtungen 5 mm, Stahlabstand in beiden Richtungen 100 mm) derart eingelagert, daß auf der einen Plattenoberfläche eine Betonüberdeckung von 5 mm, auf der gegenüberliegenden Oberfläche eine Betonüberdeckung von 20 mm entstand.

Alle Probeplatten waren zunächst 2,5 Jahre unmittelbar der freien Bewitterung ausgesetzt, ehe sie mit Schutzanstrichen bzw. an den "künstlichen Fehlstellen" (s. u.) mit Instandsetzungswerkstoffen geschützt und/oder ausgebessert wurden. Während der 2,5-jährigen Freibewitterung traten naturgemäß bei Karbonatisierungstiefen von 2 - 4 mm noch keine Abplatzschäden über ggf. korrodierender Bewehrung auf. Fehlstellen mußten daher durch Freilegen der Bewehrung mit Hammer und Meißel künstlich erzeugt werden. Die dabei entstehenden, "V"-förmigen Ausbrüche, in deren Zentren der freigelegte Bewehrungsstahl lag, wurden dann jeweils entsprechend Herstellervorschrift mit den dafür vorgesehenen Werkstoffen (vgl. Kapitel 3) in der üblichen Weise "instandgesetzt".

4.2 Betonoberflächen-Schutzanstriche

Beim Auftrag von Schutzbeschichtungen waren die Platten oberflächentrocken (1 Woche Laborlagerung). Der Beton erwies sich als fest und nicht verwittert, so daß ein Sandstrahlen entfallen konnte. Sicherheitshalber wurden die Flächen jedoch mit einer Drahtbürste sorgfältig scharf abgebürstet und dann mit ölfreier Preßluft abgeblasen.

Zur Beschichtung wurden heute übliche Schutzanstriche für Betonoberflächen eingesetzt, wobei sowohl Dispersionen als auch lösemittelhaltige Farben zum Einsatz kamen. Die hier eingesetzten Beschichtungsvarianten werden nachfolgend einzeln aufgeführt. Alle Angaben zu den Produkten stammen aus den technischen Merkblättern der Hersteller. Genauere Informationen zur Formulierung der Anstriche lagen nicht vor.

4.2.1 Reinacrylat-Dispersionsfarbe

Auftragsmenge: 2 x 220 g/m²

H₂O-Dampf- und CO₂-Diffusionswiderstand aus eigenen Messungen:

$S_d - H_2O = 0,4 \text{ m}$; $S_d - CO_2 = 1100 \text{ m}$ bei einer Schichtdicke von i. M. 160 μm

4.2.2 Lösungsmittelhaltiges Acrylharzsystem

4.2.2.1 Grundierung: Silikonharzimprägnierung (Hydrophobierung),
Auftragsmenge: 2 x 200 g

4.2.2.2 Deckanstrich Variante 1: farblos, lasierendes Acrylharz,
Auftragsmenge: 2 x 200 g/m²

4.2.2.3 Deckanstrich Variante 2: pigmentiertes Acrylharz,
Auftragsmenge: 2 x 200 g/m²

Folgende Beschichtungen wurden aufgetragen:

- 4.2.2.2 allein,
- 4.2.2.3 allein,
- 4.2.2.1 + 4.2.2.2
- 4.2.2.1 + 4.2.2.3

jeweils in den o. g. Auftragsmengen.

H₂O-Dampf und CO₂-Diffusionswiderstand aus eigenen Messungen (Variante 4.2.2.3): $S_d - H_2O = 3,0 \text{ m}$; $S_d - CO_2 = 820 \text{ m}$ bei einer Schichtdicke von i. M. 120 μm .

4.2.3 Lösungsmittelhaltiges Acrylharzsystem

4.2.3.1 Grundierung: Silikonharzimprägnierung (Hydrophobierung),
Auftragsmenge: $2 \times 200 \text{ g/m}^2$

4.2.3.2 Deckanstrich: pigmentiertes Acrylharz,
Auftragsmenge: $2 \times 200 \text{ g/m}^2$

Folgende Beschichtungen wurden aufgetragen:

- 4.2.3.2 allein
- 4.2.3.1 + 4.2.3.2

jeweils in den o. g. Auftragsmengen.

H₂O-Dampf- und CO₂-Diffusionswiderstand aus eigenen Messungen
(4.2.3.2): $S_d - \text{H}_2\text{O} = 2,5 \text{ m}$; $S_d - \text{CO}_2 = 560 \text{ m}$ bei einer Schicht-
dicke von i. M. $120 \mu\text{m}$.

4.2.4 Lösungsmittelhaltiges Acrylharzsystem

4.2.4.1 Grundierung: Siloxanimprägnierung (Hydrophobierung),
Auftragsmenge: $2 \times 200 \text{ g/m}^2$

4.2.4.2 Deckanstrich: Pigmentiertes Acrylharz,
Auftragsmenge: $2 \times 200 \text{ g/m}^2$

Folgende Beschichtungen wurden aufgetragen:

- 4.2.4.2 allein
- 4.2.4.1 + 4.2.4.2

jeweils in den o. g. Auftragsmengen.

H₂O-Dampf- und CO₂-Diffusionswiderstände aus eigenen Messungen:
 $S_d - H_2O = 2,1 \text{ m}$; $S_d - CO_2 = 410 \text{ m}$ bei einer Schichtdicke von
i. M. 120 μm .

4.2.5 Elastische Ethylen-Mischpolymerdispersion,

Beschichtung bestehend aus:

Grundierung (Auftragsmenge: 1 x 200 g/m²) und Deckbeschichtung
(Auftragsmenge: 3 x 300 g/m²)

H₂O-Dampf- und CO₂-Diffusionswiderstände aus eigener Messung:
 $S_d - H_2O = 2,5 \text{ m}$; $S_d - CO_2 = 3000 \text{ m}$ bei einer Schichtdicke von i.
M. 400 μm .

4.2.6 Lösungsmittelhaltiger Siloxan/Acrylharzanstrich

4.2.6.1 Grundierung: Siloxan/Acrylharz,
Auftragsmenge: 1 x 150 g/m²

4.2.6.2 Deckanstrich: pigmentiertes Acrylharz,
Auftragsmenge: 2 x 150 g/m²

Folgende Beschichtungen wurden aufgetragen:

- 4.2.6.2 allein
- 4.2.6.1 + 4.2.6.2

jeweils in den o. g. Auftragsmengen.

H₂O-Dampf- und CO₂-Diffusionswiderstände aus eigenen Messungen
(4.2.6.1 + 4.2.6.2):

$S_d - H_2O = 1,5 \text{ m}$; $S_d - CO_2 = 450 \text{ m}$ bei einer Schichtdicke von
i. M. 120 μm .

4.2.7 Lösungsmittelhaltiger Siloxan/Acrylharzanstrich

4.2.7.1 Grundierung: Siloxan/Acrylharz,

Auftragsmenge: $1 \times 300 \text{ g/m}^2$

4.2.7.2 Deckanstrich: Pigmentiertes Siloxan/Acrylharz,

Auftragsmenge: $2 \times 200 \text{ g/m}^2$

Folgende Beschichtungen wurden aufgetragen:

- 4.2.7.2 allein

- 4.2.7.1 + 4.2.7.2

jeweils in den o. g. Auftragsmengen.

H₂O-Dampf- und CO₂-Diffusionswiderstände aus eigener Messung
(4.2.7.1 + 4.2.7.2):

$S_d - \text{H}_2\text{O} = 1,7 \text{ m}$; $S_d - \text{CO}_2 = 320 \text{ m}$ bei einer Schichtdicke von
i. M. $160 \text{ }\mu\text{m}$.

4.2.8 Acrylharz-Dispersion

Grundierung (Acrylcopolymerisat, Auftragsmenge $1 \times 50 \text{ g/m}^2$) zusammen mit Deckanstrich (Acrylcopolymerisat, Auftragsmenge $2 \times 200 \text{ g/m}^2$)

H₂O-Dampf- und CO₂-Diffusionswiderstände lt. techn. Merkblatt:
 $S_d - \text{H}_2\text{O} = 0,36 \text{ m}$; $S_d - \text{CO}_2 = 510 \text{ m}$ bei einer Schichtdicke von
i. M. $145 \text{ }\mu\text{m}$.

4.2.9 Acrylharz-Dispersion

Grundierung (Acryl-Polyurethanharzlack, Auftragsmenge $1 \times 350 \text{ g/m}^2$) zusammen mit Deckanstrich (Dickbeschichtung, Quarzplastikmasse (?), Auftragsmenge $2 \times 1200 \text{ g/m}^2$ durch Rollen).

H₂O-Dampf- und CO₂-Diffusionswiderstände lt. techn. Merkblatt:
 $S_d - H_2O = 2,0 \text{ m}$; $S_d - CO_2 = 340 \text{ m}$ bei einer Schichtdicke von
i. M. 800 μm .

Eigene Messung (nur Deckanstrich allein):

$S_d - H_2O = 0,4 \text{ m}$; $S_d - CO_2 = 100 \text{ m}$ bei einer Schichtdicke von
i. M. 650 μm .

4.2.10 Acrylharz-Dispersion

Grundierung (Acryl-Polymerdispersion, elastisch, Auftragsmenge ca. 2 x 500 g/m²) zusammen mit Deckbeschichtung (Acryl-Polymerdispersion, Auftragsmenge 3 x 200 g/m²).

H₂O-Dampf- und CO₂-Diffusionswiderstände aus eigener Messung:
 $S_d - H_2O = 2,0 \text{ m}$; $S_d - CO_2 = 1300 \text{ m}$ bei einer Schichtdicke von
i. M. 500 μm .

4.3 Betonoberflächen-Instandsetzungssysteme

Ebenso wie in Abschnitt 4.2 bei den Beschichtungen wurden auch bei den Instandsetzungssystemen aus dem Angebot seinerzeit üblicher Werkstoffe in zufälliger Auswahl eine im Rahmen dieses Forschungsvorhabens bearbeitbare Anzahl ausgewählt. Den typischen Ablauf der "Instandsetzung" einer mit künstlichen Fehlstellen versehenen Betonplatte (vgl. 4.1) zeigen die Abbildungen 3 - 5 in Abschnitt 7.

4.3.1 System I

- Korrosionsschutz: Einkomp. Kunstharz (kein EP)
- Mörtel: Zementgebundenen, über die Anmachflüssigkeit kunststoffmodifiziert

- Haftbrücke: Mörtel wie vor, jedoch in schlämmfähiger Einstellung
- Feinmörtel/Spachtel: Oberflächenglättung durch Schlämmaustrich mit einer zementgebundenen, über die Anmachflüssigkeit kunststoffmodifizierten Schlämme
- Schutzanstrich: Reinacrylatfarbe (s. 4.2.1)

4.3.2 System II

- Korrosionsschutz: Bleimennige EP-Harz, zweite Beschichtung abgesandet
- Mörtel: Zementgebundener Mörtel, über die Anmachflüssigkeit mit Kunststoff modifiziert
- Haftbrücke: Mörtel wie vor, jedoch schlämmfähig eingestellt
- Feinmörtel/Spachtel: Feinmörtel, zementgebunden, kunststoff-modifiziert
- Schutzanstrich: Lösungsmittelhaltiges Acrylharzsystem (s. 4.2.3)

4.3.3 System III

- Korrosionsschutz: Zementklinker EP-Harz, zweite Beschichtung abgesandet
- Mörtel: Zementgebundener Mörtel, über die Anmachflüssigkeit mit Kunststoff modifiziert

- Haftbrücke: Spezieller, zementgebundener Mörtel, über die Anmachflüssigkeit mit Kunststoff modifiziert
- Feinmörtel/Spachtel: Zementgebunden, über die Anmachflüssigkeit kunststoffmodifiziert
- Schutzanstrich: Lösungsmittelhaltiges Acrylharzsystem (s. 4.2.4) sowie alternativ elastische Ethylen-Mischpolymer-Dispersion (s. 4.2.5)

4.3.4 System IV

- Korrosionsschutz: Bleimennige EP-Harz, Zweitbeschichtung abgesandet
- Mörtel: Zementgebundener Mörtel, über die Anmachflüssigkeit mit Kunststoff modifiziert
- Haftbrücke: Spezielles, zementgebundenes, kunststoffmodifiziertes Fertigprodukt
- Feinmörtel/Spachtel: Zementgebunden, über die Anmachflüssigkeit kunststoffmodifiziert
- Schutzanstrich: Lösungsmittelhaltiges Acrylharz (s. 4.2.6)

4.3.5 System V

- Korrosionsschutz: Bleimennige EP-Harz, Zweitbeschichtung abgesandet
- Mörtel: Zementgebundenes, kunststoffmodifiziertes Fertigprodukt
- Haftbrücke: Spezieller, zementgebundener Mörtel, über die Anmachflüssigkeit mit Kunststoff modifiziert

- Feinmörtel/Spachtel: Zementgebundenes, kunststoffmodifiziertes Fertigprodukt
- Schutzanstrich: Lösungsmittelhaltiger Siloxan-Acrylharzanstrich (s. 4.2.7)

4.3.6 System VI

- Korrosionsschutz: EP-Harz, 2-fach, keine Absandung, da gleichzeitig Haftbrücke
- Mörtel: Zementgebundener (kunststoffmodifizierter?) Fertigmörtel
- Haftbrücke: Gleiches Material wie Korrosionsschutz
- Feinmörtel: Zementgebundener (kunststoffmodifizierter?) Fertigmörtel

Schutzanstrich: Acrylharzdispersionen in Dünn- bzw. alternativ Dickschichtauftrag (s. 4.2.8 bzw. 4.2.9)

4.3.7 System VII

- Korrosionsschutz: Alkalischer Dispersionsanstrich (2-fach)
- Mörtel: Zementgebundener Mörtel, über die Anmachflüssigkeit mit Kunststoff modifiziert
- Haftbrücke: Kunstharzdispersion (die auch als Zugabe für den Mörtel eingesetzt wird)
- Feinmörtel/Spachtel: Reinacrylatspachtelmasse
- Schutzanstrich: Acrylharzdispersion (s. 4.2.10)

4.4 Freibewitterung

Die mit den Schutzanstrichen (vgl. 4.2) und Instandsetzungssystemen (vgl. 4.3) versehenen Betonprobekörper (vgl. 4.1) wurden senkrecht stehend, nach Süden ausgerichtet auf dem Dach des Instituts für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der TU Braunschweig der unmittelbaren, freien Bewitterung ausgesetzt. Einen Eindruck von dem Freibewitterungsstand vermitteln die Abbildungen 6 und 7 in Abschnitt 7.

5. Ergebnisse der Freibewitterung

Nach 4-jähriger Freibewitterung wurde ein Teil der ausgelagerten Probekörper (vgl. Abschnitt 4) hinsichtlich ihres Erhaltungszustandes untersucht. Dabei mußten die Proben in der Regel zerstört werden, um auch das Innere der künstlichen Fehlstellen beurteilen zu können. Die bei der Auswertung nicht zerstörten Probekörper verbleiben bis auf weiteres auf dem Dach des Instituts. An ihnen können Dauerhaftigkeit bzw. Verhalten in der Freibewitterung in den folgenden Jahren weiter beobachtet werden, was jedoch im Rahmen dieses Forschungsvorhabens nicht mehr möglich ist.

Zweckmäßiger Weise erfolgt die Ergebnisdarstellung getrennt nach "Anstrichen" und "Instandsetzungssystemen", wobei unter den "Systemen" die Probekörper mit künstlichen Fehlstellen verstanden werden, an denen alle Systemkomponenten (Korrosionsschutz für den Bewehrungsstahl, Mörtel/Spachtel zum Verfüllen und/oder Glätten, Schutzanstriche) zur Reparatur eingesetzt worden waren.

5.1 Betonoberflächen-Schutzanstriche

Die einzelnen Anstriche wurden nach Art und Aufbau in Abschnitt 4.2 anhand der Angaben aus den technischen Merkblättern, in der Regel mit zusätzlichen eigenen Messergebnissen zur H_2O -Dampf- und CO_2 -Diffusion, vorgestellt. Grob klassifiziert lassen sich diese Anstriche in drei unterschiedliche Gruppen einteilen, anhand derer nachfolgend die Untersuchungsergebnisse dargestellt werden.

5.1.1 Lösungsmittelhaltige Schutzanstriche

Diese Gruppe von Betonoberflächen-Schutzanstrichen besteht in der Regel aus lösungsmittelhaltigen Grundierungen auf der Basis oligomerer Siloxane und Deckanstrichen auf der Basis gelöster Acrylharze. Bei den Grundierungen handelt es sich meistens um die gleichen Formulierungen, die auch allein als sog. "Hydrophobie-

rungen" für den Durchfeuchtungsschutz an Fassaden eingesetzt werden. Durch den hydrophobierenden Effekt perlt das Wasser von der Bauteiloberfläche ab, das kapillare Saugen wird weitestgehend unterbunden, so daß wegen ungehinderter Wasserdampfdiffusion langfristig eine Austrocknung der Oberfläche einsetzt. Es sei an dieser Stelle aber nochmals darauf hingewiesen, daß eine "Hydrophobierung" an Stahlbetonoberflächen allein einen erheblichen Kunstfehler darstellen kann, wenn durch die dann trockenen (wasserfreien, offenen) Poren das CO_2 leichter in den Beton eindringt und damit eine erhöhte Karbonatisierungstiefe bewirkt.

Die nachfolgenden, pigmentierten Acrylharzlösungen wurden in der Vergangenheit überwiegend als Schutzanstriche im Betonoberflächenschutz eingesetzt, in Zukunft erscheint aber wenigstens ein teilweiser Ersatz durch lösungsmittelfreie Systeme wahrscheinlich.

Seitens der Hersteller wird nicht grundsätzlich der Einsatz hydrophobierender Siloxanlösungen als Grundierung unter den Acrylharz-Deckanstrichen empfohlen bzw. vorgeschrieben. Soweit hydrophobierende Grundierungen zum jeweiligen Schutzanstrich vorhanden waren, wurden die Beschichtungen jeweils mit und ohne diese Grundierungen hergestellt.

Nach ca. 4-jähriger Freibewitterung wurden an derartigen Schutzanstrichen folgende Untersuchungsergebnisse festgestellt:

- Erste Schäden treten bereits in Form kleiner Abblätterungen auf. Dabei ist jedoch festzustellen, daß es sich keinesfalls um das Ende der Lebensdauer oder um gravierende Schäden handelt. Es sind auch nicht alle Anstriche betroffen. Entscheidend ist offenbar auch der Untergrund; am deutlichsten traten diese ersten Schäden an den glattgeschalteten (Schaltafeln, vgl. 4.1) Probekörpern auf.

- Nicht grundsätzlich, aber bereits bei mehreren Anstrichen erkennbar ist eine höhere Schädigung (z. B. an Ecken oder an den weniger sorgfältig untergrundvorbehandelten Schmalseiten der Probeplatten) an den Flächen, auf den die Acrylharz-deckanstriche ohne hydrophobierende Grundierung aufgetragen worden waren.
- Den insgesamt besten Zustand, bisher völlige Schadensfreiheit, zeigten alle Anstriche, sofern die Betonoberflächen vor der Beschichtung mit einem Feinmörtel/Spachtel überzogen worden waren.
- Ein Fortschritt der Karbonatisierung gegenüber dem Ausgangszustand vor dem Beschichteten war in keinem Fall feststellbar.

Beispiele zu den hier vorgestellten, typischen Ergebnissen zeigen die Abbildungen 8 - 20 in Abschnitt 7.

5.1.2 Dispersionen

Während Dispersionen früher in der Regel zur optischen Gestaltung von Fassaden eingesetzt wurden, ist seit einigen Jahren mit steigender Tendenz auch der Anwendungsbereich Betonoberflächenschutz hinzugekommen. Ursache dafür ist die hervorragende Wasserdampfdurchlässigkeit dieser Anstriche bei neuerdings auch hoher Sperrwirkung gegenüber CO_2 . Diese Anstrichfilme sind in der Regel weniger starr als die Filme aus Acrylharzlösungen, zur Zeit werden daher auf dieser Basis vermehrt auch sog. Elastik-Anstriche entwickelt und angeboten, die das Aufreißen der Beschichtung im Bereich feiner Oberflächenrisse des Betons verhindern sollen. Der meßtechnische Nachweis rißüberbrückender Eigenschaften ist derzeit nur sehr begrenzt möglich, da einheitliche, allgemein anerkannte Prüfverfahren sich noch in der Entwicklung befinden. Andererseits zeigen Anstrichfilme von sog. Elastiksystemen ein erstaunlich hohes Dehnvermögen. Dispersionen werden langfristig -

auch aus der Sicht des Umweltschutzes wegen ihrer Lösungsmittelfreiheit - für den Betonoberflächenschutz an Bedeutung zunehmen, wobei allerdings bei allen Vorteilen nicht übersehen werden darf, daß häufig gegenüber den lösungsmittelhaltigen Schutzanstrichen eine höhere Empfindlichkeit gegenüber langanhaltender Wasserbelastung (z. B. auf horizontalen Flächen) besteht.

Die im Rahmen des Forschungsvorhabens eingesetzten Dispersionen (Basis z. B. Acrylpolymer, Ethylenmischpolymer) zeigten nach 4-jähriger Freibewitterung folgende Ergebnisse:

- Auch bei den Dispersionen treten bereits erste Schäden auf, z. B. vereinzelt feine Risse oder kleine Ablösungen. Die Schäden sind jedoch nicht gravierend, d. h., es handelt sich bezogen auf die Gesamtfläche um Ausnahmen, welche die Schutzfunktion noch nicht in Frage stellen.
- Das speziell elastisch eingestellte Ethylen-Mischpolymersystem war deutlich verschmutzt (offenbar Verschmutzungsneigung), jedoch völlig schadensfrei.
- Ein weiterer, aus einer elastischen Grundierung und einem Deckanstrich aufgebauter Schutzanstrich zeigte auffällige Blasen bis 10 cm Ø, die sich bei Sonnenbestrahlung aufblähten und bei Abkühlung wieder zusammenfielen. Als Ursache dafür kann eine geringe Haftzugfestigkeit der elastischen Grundierung angesehen werden.
- Die Karbonatisierungstiefen hatten sich seit Auftragen nicht mehr signifikant verändert, es ergaben sich Werte zwischen 2 - 4 mm.

Typische Ansichten der Probekörperoberflächen zu den vorstehend aufgeführten Untersuchungsergebnissen zeigen die Abbildungen 21 - 30 des Abschnitts 7.

5.1.3 Dispersionen (dickschichtig)

Im Gegensatz zu den unter 5.1.2 beschriebenen Dispersionsanstrichen mit mittleren Schichtdicken zwischen 150 und 500 μm , handelt es sich hier um eine aufgerollte Schicht mit einer Dicke von i. M. 800 μm und auffallend rauher, strukturierter Oberfläche. Dieses System war nach 4-jähriger Freibewitterung völlig schadensfrei, jedoch aufgrund seiner rauhen Oberfläche stärker verschmutzt. Die Karbonatisierungstiefe hatte sich nach dem Auftragen der Beschichtung nicht mehr signifikant verändert. Einen Eindruck vom Oberflächenzustand dieser Dickbeschichtung vermitteln die Abbildungen 31 und 32 in Abschnitt 7.

5.1.4 Zusammenfassung Beschichtungen

Die Ergebnisse einer 4-jährigen Freibewitterung an einer Auswahl derzeit üblicher Betonoberflächen-Schutzbeschichtungen auf der Basis von in der Regel Acrylaten (gelöst oder als Dispersion) lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- 5.1.4.1 Nach 4-jähriger Freibewitterung können bei derartigen Anstrichsystemen durchaus schon Schäden auftreten. Es handelt sich dabei aber nicht um ein komplettes Versagen der Beschichtung, sondern um vereinzelte, örtliche Fehlstellen. Ursachen dafür können in der Regel in einer unzureichenden Untergrundvorbehandlung gesehen werden.
- 5.1.4.2 Unter Schutzbeschichtungen aus gelösten Acrylaten wirken sich Hydrophobierungen mit Siloxanlösungen offenbar sehr vorteilhaft, d. h. schadensvermindernd aus, da die Hydrophobierung der Betonoberfläche die Gefahr einer Hinterfeuchtung der Beschichtung an Fehlstellen der Deckschicht herabsetzt.
- 5.1.4.3 Optimale Ergebnisse (bisher völlige Schadensfreiheit) zeigten sich, wenn die Betonoberflächen vor dem Auftra-

gen der gelösten Acrylharze (ggf. mit Hydrophobierung) mit einem zementgebundenen, kunststoffmodifizierten Feinmörtel (ca. 3 - 5 mm dick) überzogen worden waren.

5.1.4.4 Elastische Dispersionen (mit rißüberbrückenden Eigenschaften lt. Angaben der Hersteller) werden entweder durch insgesamt gut verformbare Einzelschichten mit guter Haftung oder durch Einbau elastischer Zwischenschichten (Grundierungen) in den Gesamtaufbau der Beschichtung erzielt. Bei dem Einbau dieser elastischen Zwischenschichten besteht offenbar die Gefahr einer Bildung großflächiger Blasen (Voraussetzung: Erwärmung durch z. B. Sonneneinstrahlung sowie Feuchte im Beton), sofern die Zwischenschicht eine zu geringe Haftzugfestigkeit besitzt.*

5.1.4.5 Je nach Materialbasis und auch bedingt durch Oberflächenrauigkeit besteht bei Dispersionsanstrichen ggf. eine merkbare Verschmutzungsneigung.

5.2 Betonoberflächen-Instandsetzungssysteme

Die hier eingesetzten Instandsetzungssysteme setzten sich - wie heute allgemein üblich - aus folgenden Einzelkomponenten (vgl. auch 4.3.1 - 4.3.7) zusammen:

- Korrosionsschutz für den freigelegten Bewehrungsstahl
- Grobmörtel zum Ausfüllen der Oberflächenfehlstelle im Bereich des korrodierten, freigelegten Stahles. Die Mörtel sind in der Regel zementgebunden und kunststoffmodifiziert und werden

* Großformatige Blasen an elastischen Beschichtungen mit Zwischenschichten herabgesetzter Haftfestigkeit werden auch in der Praxis beobachtet.

"frisch in frisch" mit jeweils zugehörigen Haftbrücken verarbeitet

- Feinmörtel zur Egalisierung der Betonoberfläche (in der Regel zementgebunden und kunststoffmodifiziert) und als ebener Untergrund für nachfolgende Beschichtungen
- Betonoberflächen-Schutzanstrich.

Für die im Rahmen dieses Forschungsvorhabens eingesetzten Systeme ist für die Beschreibung der Untersuchungsergebnisse keine differenzierte Darstellung wie bei den Schutzanstrichen erforderlich, da sie sich während der Freibewitterung bisher gleich verhielten. Das ist insofern zunächst erstaunlich, da sich einige der Systeme - im Rahmen beantragter Materialprüfung - hinsichtlich ihrer Eignung durchaus unterschiedlich verhielten. Besonders eines der hier eingesetzten Systeme zeigte bei Korrosionsschutz- und Mörtelungsprüfungen auffällig schlechte Ergebnisse. Daraus ist offenbar zu folgern, daß eine 4-jährige Freibewitterung derartige Systemschwächen noch nicht aufzeigt, sofern beispielsweise der Betonoberflächen-Schutzanstrich intakt bzw. von hoher Qualität ist. Die Ergebnisse der 4-jährigen Freibewitterung lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- 5.2.1.1 Beim Abstemmen des Grobmörtels aus den künstlichen Fehlstellen mit Hammer und Meißel wurde kein Herausfallen der Plomben oder auffälliges Ablösen der Mörtel in der Kontaktfläche "Beton/Mörtel" beobachtet.
- 5.2.1.2 Beim Abstemmen des Grobmörtels aus den künstlichen Fehlstellen löste sich der Mörtel - unabhängig von der Materialbasis des Korrosionsschutzes - von der Korrosionsschutzbeschichtung der Stähle ab, ohne dabei die Beschichtung vom Stahl abzureißen. Die Mörtelplomben waren nicht karbonatisiert.

5.2.1.3 Das Ablösen der Korrosionsschutzbeschichtung (Abkratzen) erforderte bei den EP-Harz-Beschichtungen den größten Aufwand.

5.2.1.4 Die Stahloberflächen hatten sich unter der Korrosionsschutzbeschichtung nicht verändert.

5.2.1.5 Die zur Egalisierung aufgetragenen Feinmörtel/Spachtel zeigten ebenso wie die Grobmörtel beim Abschlagen mit Hammer und Meißel kein auffälliges Versagen in der Kontaktfläche Untergrund/Feinmörtel, wobei hier der Untergrund abschnittsweise aus Grobmörtel (an der Fehlstelle) und Beton bestand.

Ein plattenartiges Ablösen der ca. 3 - 5 mm dicken Feinmörtelschicht wurde nur einmal beobachtet. Ursache dafür war das Auftragen des Feinmörtels auf eine nicht vorbehandelte Betonfläche. Im Bereich der Fehlstelle haftet der Feinmörtel fest auf dem Reparaturmörtel. Zu irgendeinem sichtbaren Schaden an der Instandsetzung hatte dieser Effekt jedoch noch nicht geführt.

5.2.1.6 Die Oberflächen-Schutzanstriche waren schadensfrei.

5.2.1.7 Betonoberflächen-Instandsetzungssysteme blieben bei sorgfältiger Untergrundvorbereitung über einen Zeitraum von mehreren Jahren (hier 4 Jahre) völlig schadensfrei, sofern der Schutzanstrich intakt war.

Die in den Abschnitten 5.2.1.1 - 5.2.1.7 dargestellten Untersuchungsergebnisse sind in den Abbildungen 33 - 52 des Abschnitts 7 fotografisch dokumentiert.

6. Zusammenfassung

Aufgrund zunehmender Betonoberflächenschäden, insbesondere über unzureichend überdeckten Bewehrungsstählen und der damit verbundenen Fragestellung eines vorbeugenden Schutzes oder einer dauerhaften Instandsetzung derartiger Schäden, führte das Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der TU-Braunschweig, Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen, in den Jahren 1977 - 1980 im Auftrag des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau eine Erhebung an Bauwerken mit instandgesetzten bzw. vorbeugend geschützten Betonoberflächen durch. Das Ergebnis dieser Studie wurde 1981 als Forschungsbericht B I 5-800177-35, Teil I vorgelegt (IRB-Bericht F 1720).

Mit den aus Teil I verbliebenen Restmitteln des Forschungsauftrages und zusätzlichen Eigenleistungen des bearbeitenden Instituts wurden anschließend bewehrte Betonplatten der Abmessungen 50 cm x 50 cm x 8 cm hergestellt. Ein Teil dieser Platten wurde nach ca. 2 1/2-jähriger Freibewitterung mit üblichen Betonoberflächen-Schutzbeschichtungen nach Herstellervorschrift beschichtet und anschließend erneut auf dem Dach des Instituts, senkrecht stehend und nach Süden ausgerichtet, der freien Bewitterung ausgesetzt.

An einem weiteren Teil der Betonplatten wurde die Bewehrung abschnittsweise freigestemmt. So entstanden "künstliche Fehlstellen", in der Regel V-förmige, linienförmige Einschnitte, in deren Grund der Bewehrungsstahl lag. Diese Fehlstellen wurden mit den Komponenten üblicher Betonoberflächen-Instandsetzungssysteme nach Herstellervorschrift repariert, wobei in der Regel die Systemkomponenten

- Korrosionsschutz für den Bewehrungsstahl
- Zementgebundene, kunststoffmodifizierte Grobmörtel für das Ausfüllen der Fehlstellen (ggf. "frisch in frisch" auf den zugehörigen Haftbrücken verarbeitet)

- Zementgebundene, kunststoffmodifizierte Feinmörtel/Spachtel zum Egalisieren der Oberfläche
- Schutzanstriche

eingesetzt wurden. Auch diese "instandgesetzten" Probekörper wurden nach Fertigstellung erneut auf dem Institutsdach senkrecht stehend, nach Süden ausgerichtet, der freien Bewitterung ausgesetzt.

Nach 4-jähriger Freibewitterung der Probekörper wurde ein repräsentativer Teil der mit Schutzanstrichen und Instandsetzungssystemen versehenen Probekörper zerstörend auf ihren Erhaltungszustand untersucht und die Ergebnisse zusätzlich fotografisch dokumentiert. Die Ergebnisse, die aufgrund der verwendeten Werkstoffe und der Art der Freibewitterung nur auf Betonoberflächen im Hochbau (keine Verkehrsbauwerke, kein Ersatz tragender Querschnitte) übertragen werden können, lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Lebensdauer von Schutzanstrichen auf der Basis gelöster Acrylharze läßt sich offenbar durch eine vorherige Hydrophobierung der Beton/Mörteluntergründe mittels Siloxanlösungen erhöhen.
- Optimale Anstrichhaltbarkeit wurde bei den vorstehend genannten Anstrichen bei zusätzlicher Egalisierung der Betonoberfläche mit zementgebundenen, kunststoffmodifizierten Feinmörteln/Spachteln festgestellt
- Eine Alternative zu den gelösten Acrylharzen stellen die Dispersionsanstriche dar. Hier können Verschmutzungsneigung (materialabhängig) oder bei besonders elastisch eingestellten, "rißüberbrückenden" Beschichtungen die Bildung großvolumiger Blasen (schlechte Haftzugfestigkeit einer Zwischenschicht) noch nicht völlig gelöste Probleme sein.

- Die Schutzanstriche können eine weitere Karbonatisierung des Betons durch eindringende Luftkohlendensäure wirkungsvoll unterbinden.
- Bei sorgfältiger Untergrundvorbehandlung sind Oberflächenreparaturen mit den üblichen Instandsetzungssystemen nach mehrjähriger Freibewitterung (hier 4 Jahre) selbst dann schadensfrei, wenn Einzelkomponenten - wie Korrosionsschutz oder Mörtel - im Rahmen von Materialeignungsprüfungen keine befriedigenden Ergebnisse zeigen. Voraussetzung für die dann beobachtete Schadensfreiheit ist offenbar ein geeigneter, intakter Schutzanstrich.

Die für die zerstörende Ergebnisermittlung nicht benötigten Probekörper lagern unter den vorstehend geschilderten Bedingungen weiterhin auf dem Dach des Instituts und können zu einem späteren Zeitpunkt ebenfalls auf Schadensentwicklung bzw. Erhaltungszustand untersucht werden.

Während der Bearbeitung der Teile I und II des hier vorgelegten Forschungsvorhabens waren die jeweils anfallenden Ergebnisse und Erfahrungen neben zusätzlichen Materialprüfungen des Instituts eine ganz wesentliche Basis für die Ausarbeitung eines "Materialprüfprogramms für die Eigenschaften und die Eignung von Werkstoffen für Schutz und Instandsetzung von Betonoberflächen". Anhand dieses Untersuchungsprogramms hat zwischenzeitlich die überwiegende Mehrzahl der überregionalen deutschen Hersteller derartiger Schutz- und Instandsetzungswerkstoffe ihre Produkte im Rahmen sog. "Systemprüfungen" untersuchen lassen. Damit wurde nicht nur erstmals eine einheitliche Prüfung durchgesetzt, sondern auch zusätzlich eine Qualitätsanhebung bewirkt, da nicht alle Systeme im "ersten Anlauf" befriedigende Ergebnisse zeigten. Zu diesem Erfolg hat das vorliegende Forschungsvorhaben bereits vor seinem Abschluß einen wesentlichen Beitrag geleistet.

Abschließend danken die Autoren nochmals

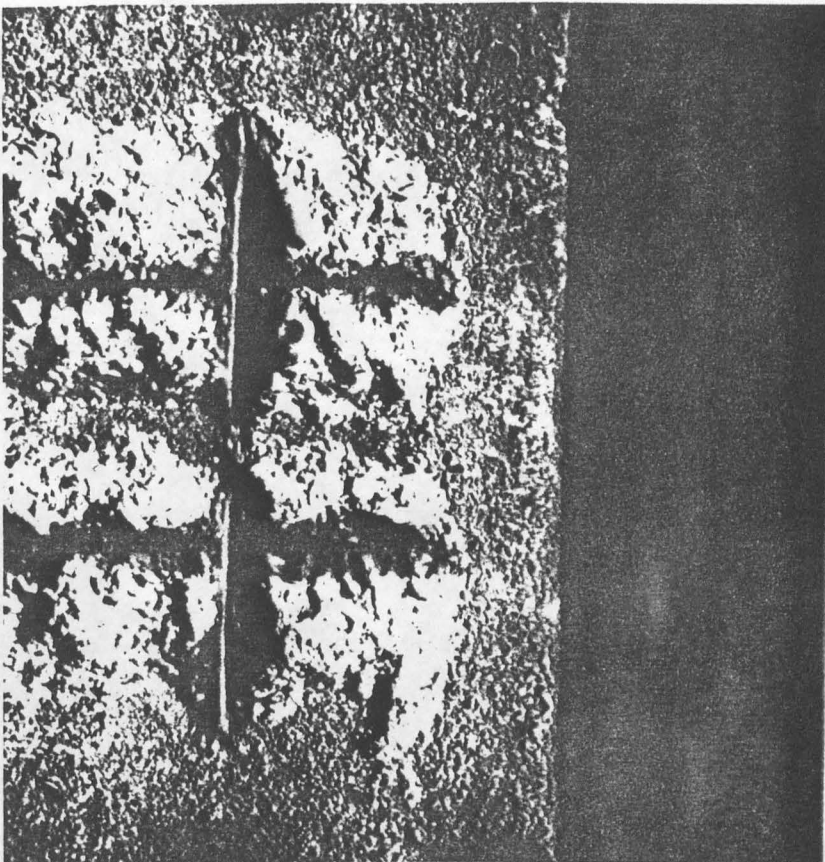
- den Bauherren für die Nennung instandgesetzter Bauwerke
- den Herstellern für Bereitstellung von Versuchsmaterialien
- und vor allem dem Minister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau für die Förderung der Forschungsarbeit

Braunschweig, September 1986

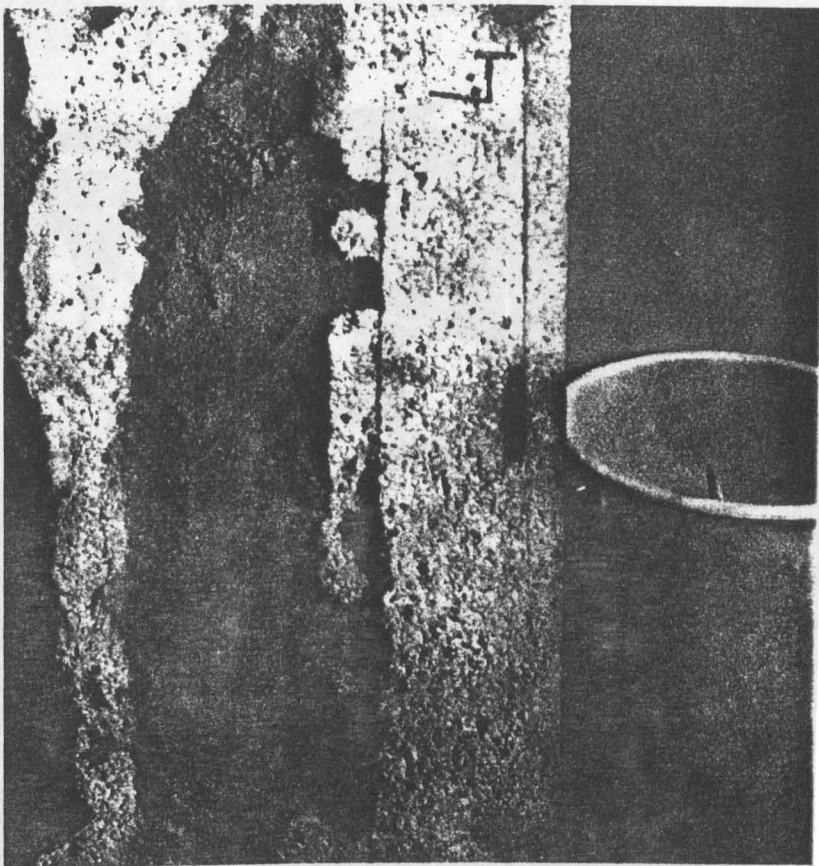
uchungsergebnisse

enthält Farbfotos
g und Untersuchung
bschnitte 4 und 5).

befinden sich un-
bschnitt 2 bzw. 3.



"künstlicher Fehlstelle", Stähle
osionsschutzanstrich



künstlichen Fehlstellen" nach dem
entgeb., kunststoffmodifizierten
PCC)

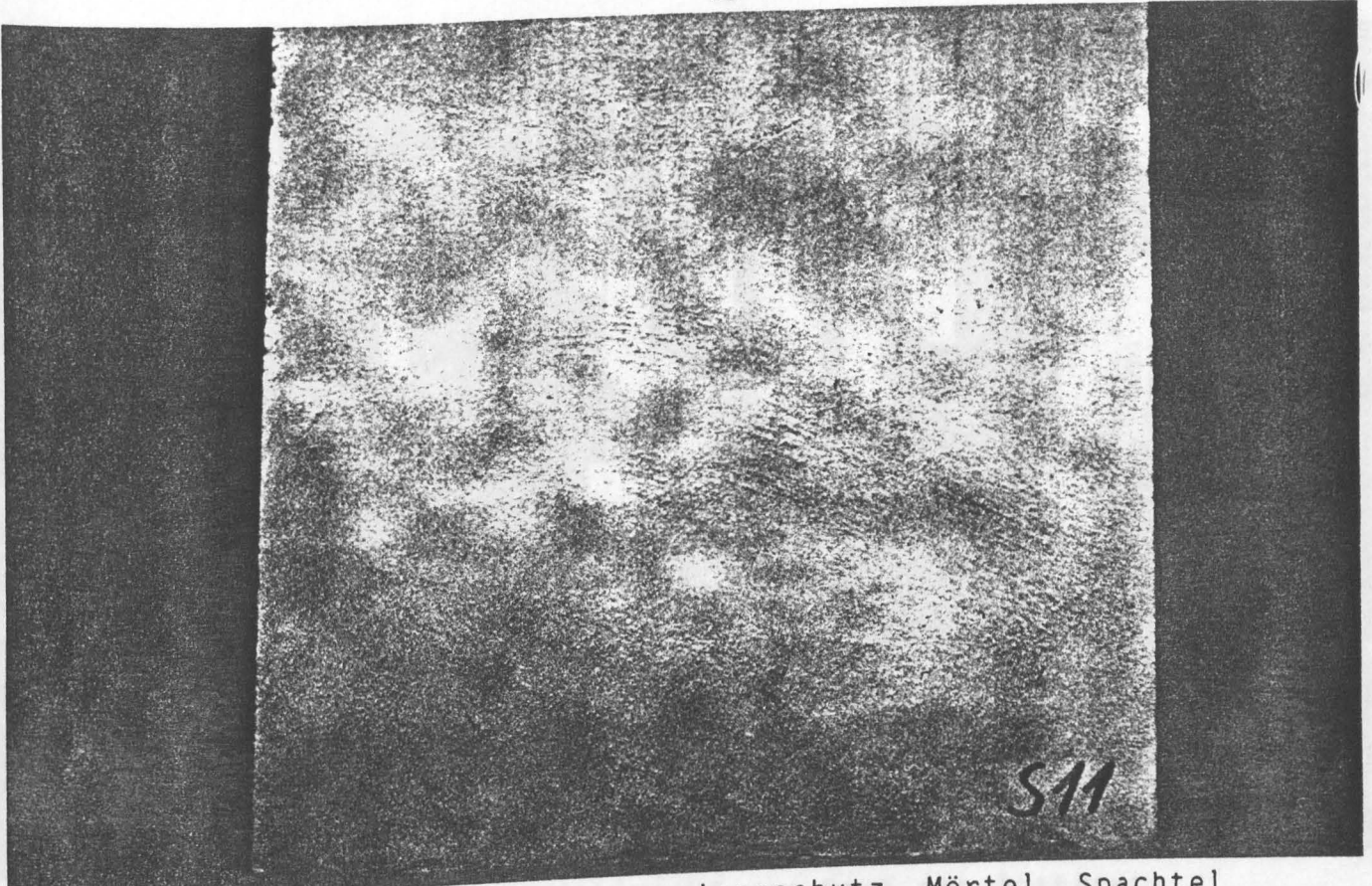


Abb. 5 Vollständig (mit Korrosionsschutz, Mörtel, Spachtel und Oberflächenschutzanstrich) instandgesetzter Probekörper (vgl. Abb. 3 u. 4)

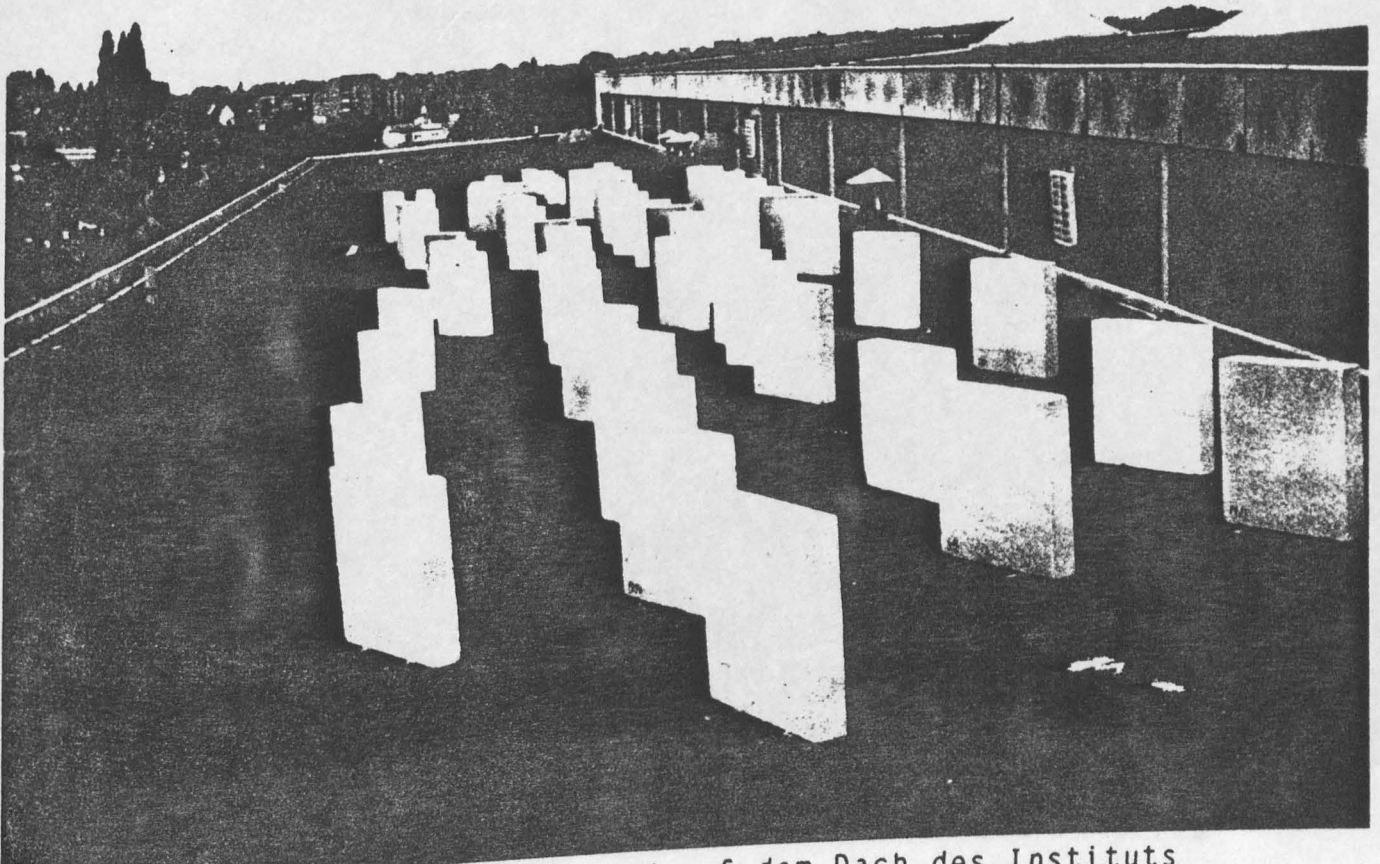


Abb. 6 Freibewitterungsstand auf dem Dach des Instituts

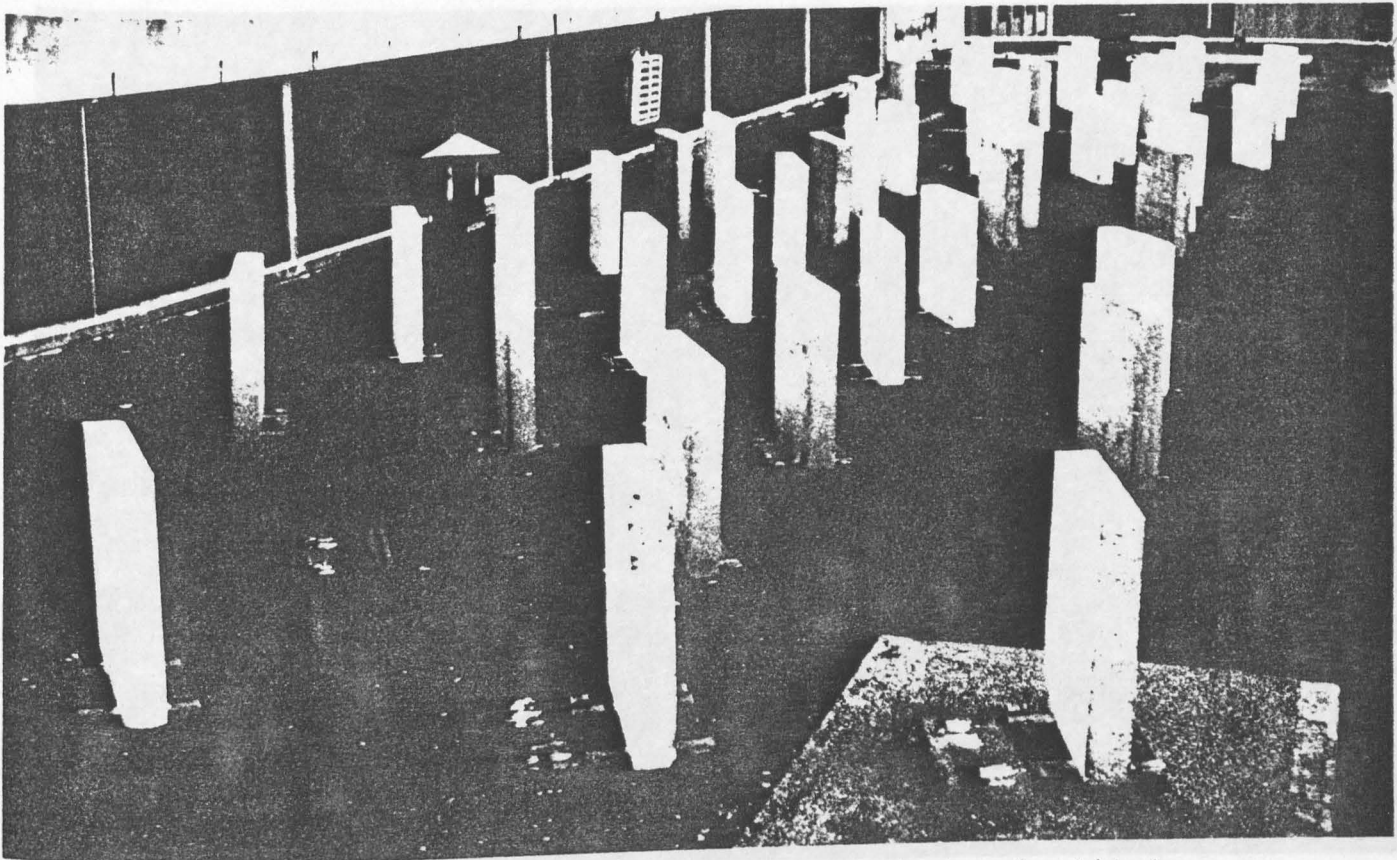


Abb. 7 Freibewitterungsstand auf dem Dach des Instituts

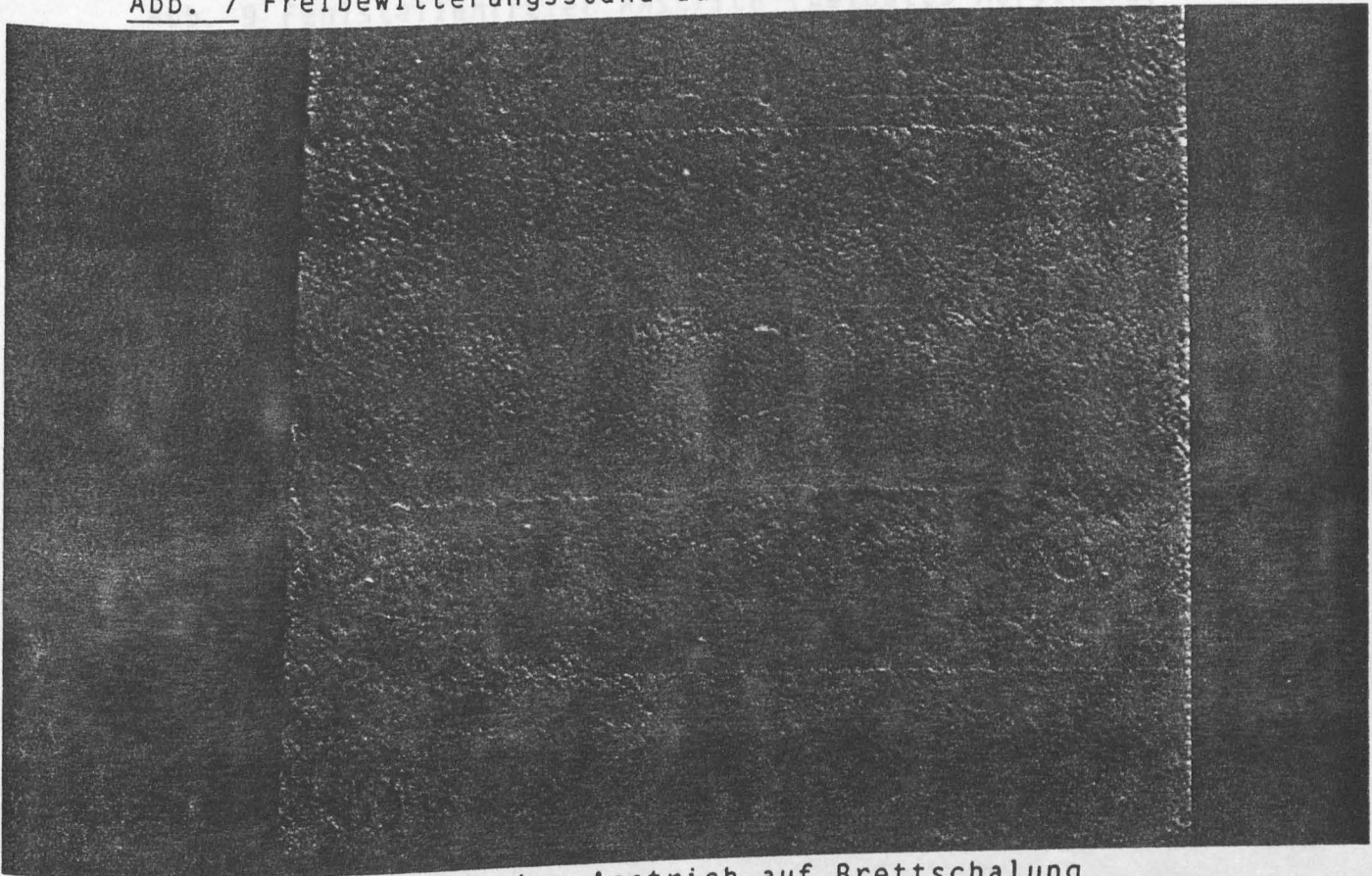


Abb. 8 Fehlstellenfreier Anstrich auf Brettschalung
(gelöstes Acrylharz) nach 4 Jahren Freibewitterung

Abb. 10 Kräfteversagen eines gelösten Acrylharzes
auf glatter, nicht ausreichend vorbereiteter Beton-
oberfläche (4 Jahre Freibewitterung)

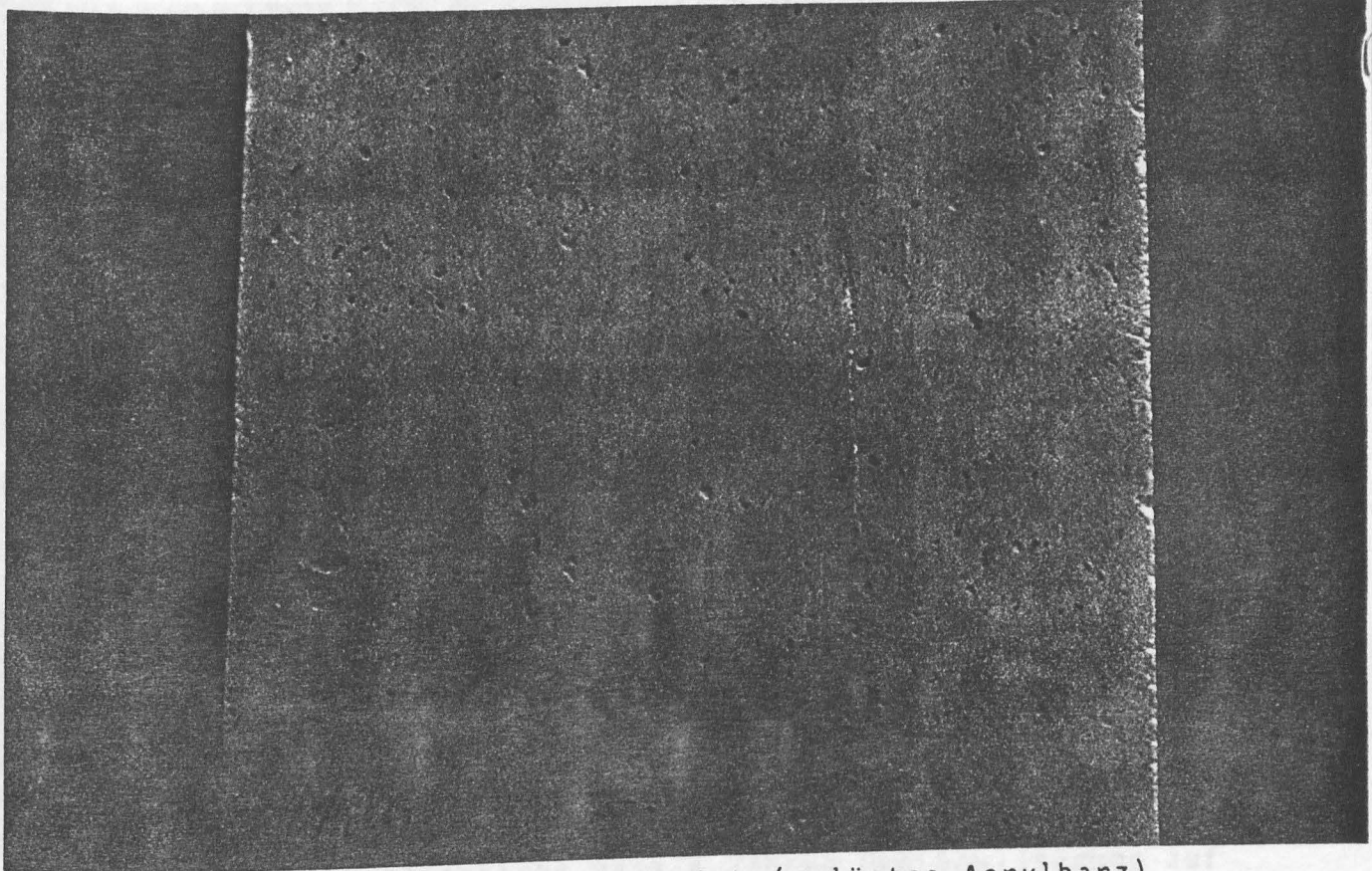


Abb. 9 Fehlstellenfreier Anstrich (gelöstes Acrylharz)
auf glattgeschalter Betonoberfläche nach 4 Jahren
Freibewitterung

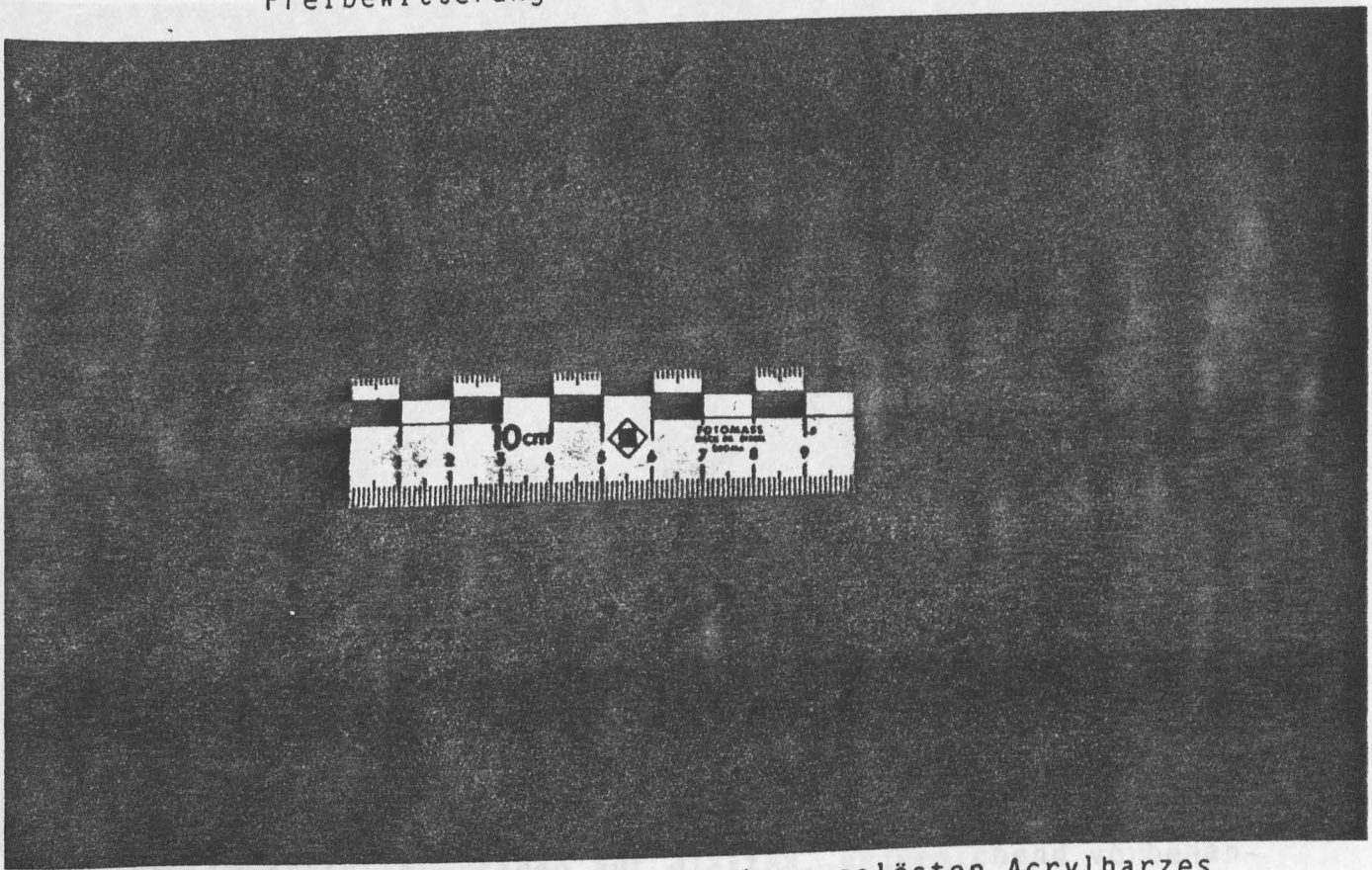


Abb. 10 Erstes Anstrichversagen eines gelösten Acrylharzes
auf glatter, nicht ausreichend vorbereiteter Beton-
oberfläche (4 Jahre Freibewitterung)

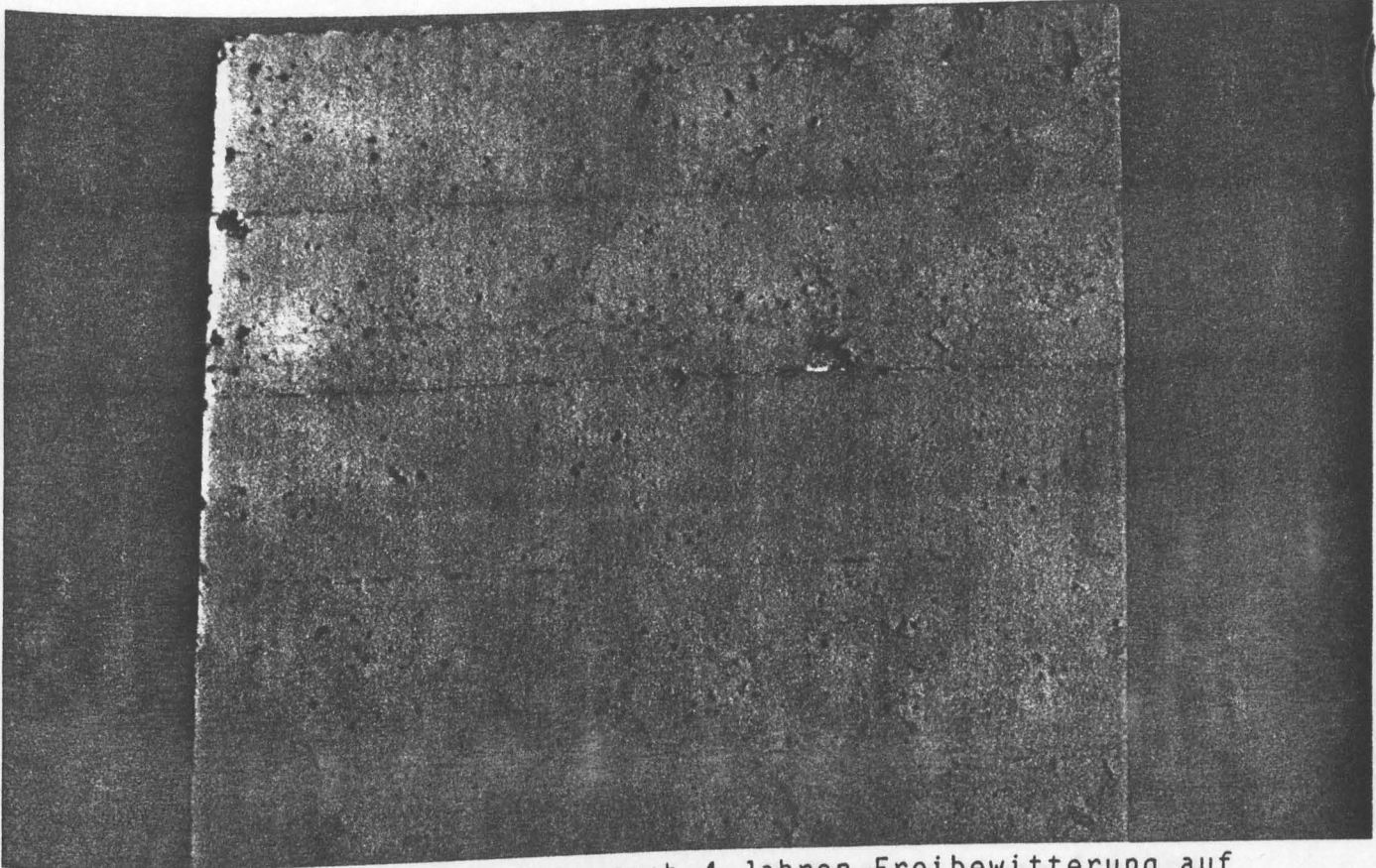


Abb. 11 Anstrichversagen nach 4 Jahren Freibewitterung auf unzureichend vorbehandelter Betonoberfläche. Linke Hälfte hydrophobiert, rechts keine Hydrophobierung

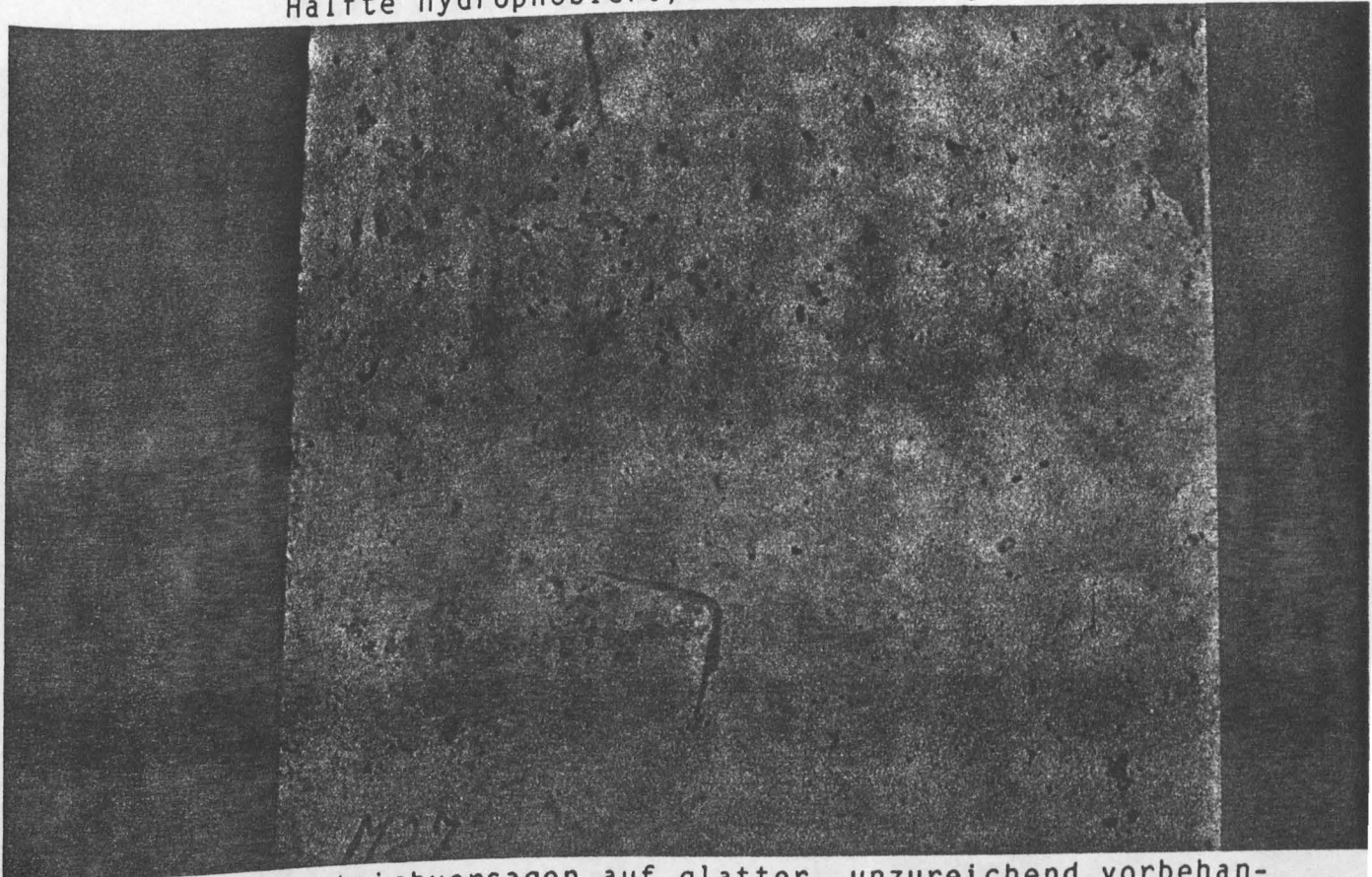


Abb. 12 Anstrichversagen auf glatter, unzureichend vorbehandelter Betonoberfläche (4 Jahre freibewittert), Links keine Hydrophobierung, rechte Hälfte hydrophobiert

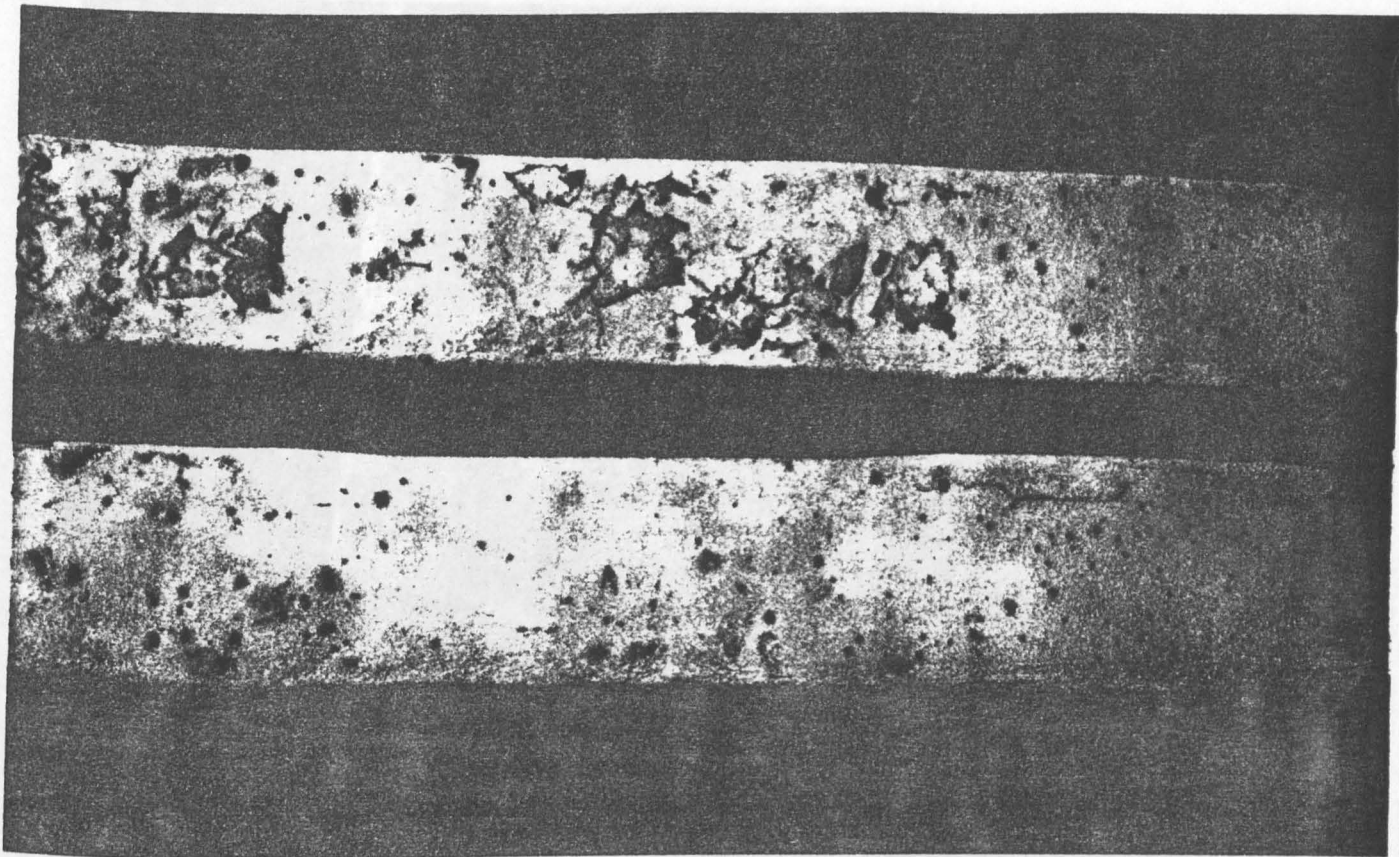


Abb. 13 Deutlicher Vorteil einer Hydrophobierung (untere Platte) gegenüber fehlender Hydrophobierung (obere Platte) unter einem gelösten Acrylharz (4 Jahre freibewittert)

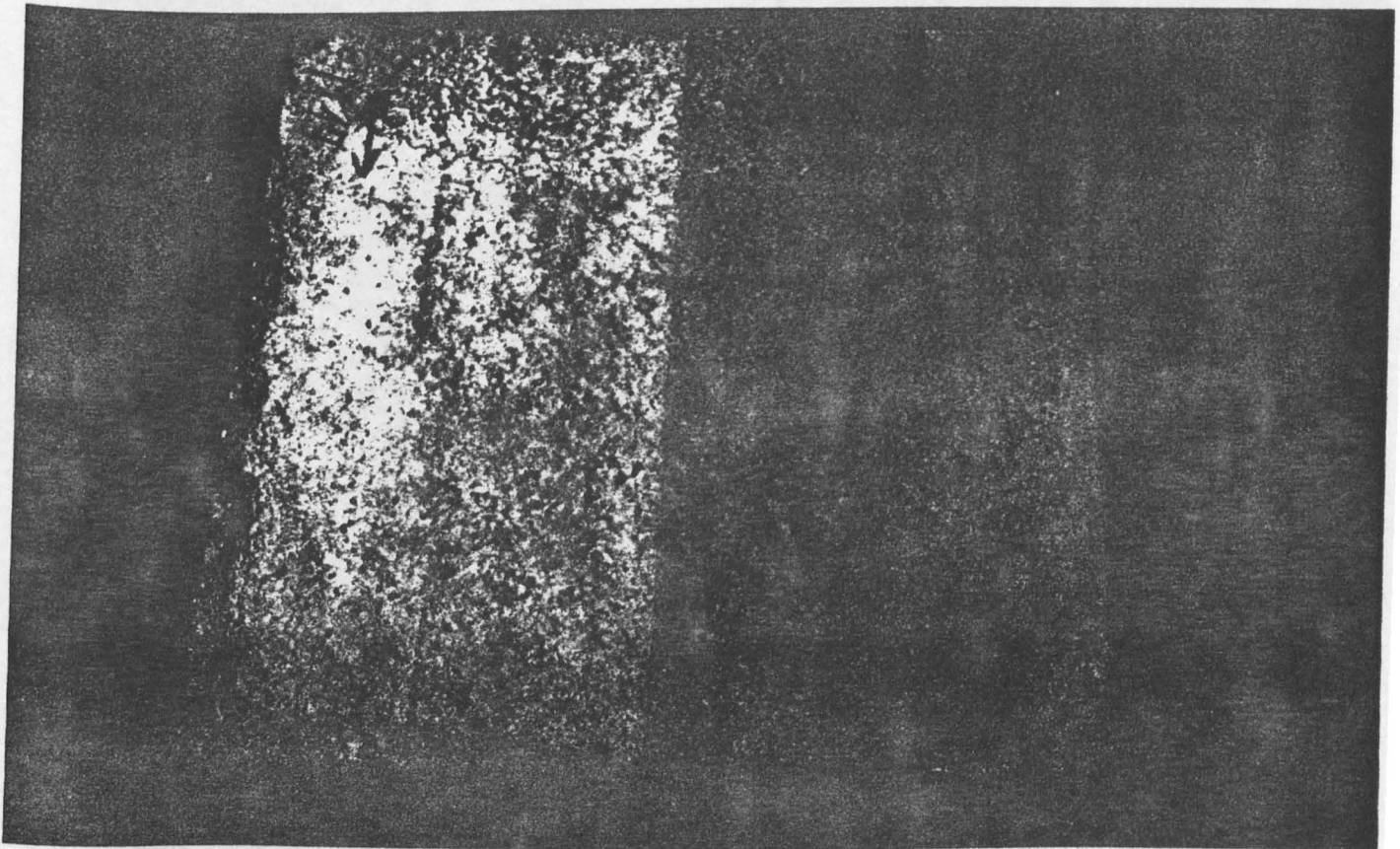


Abb. 14 Transparenter Acrylharzanstrich, links mit, rechts ohne Hydrophobierung unter der Beschichtung

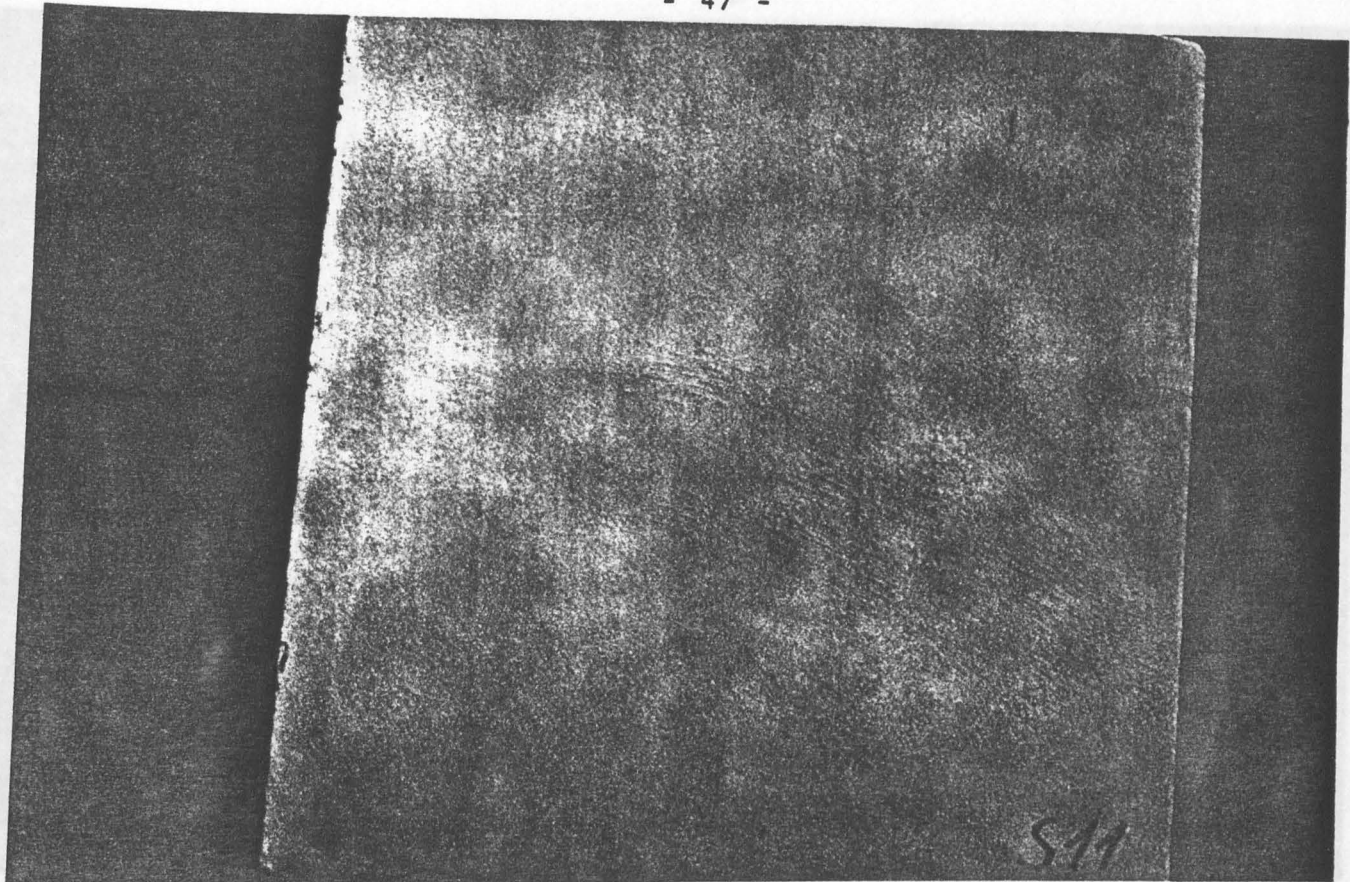


Abb. 15 Optimales Verhalten eines Anstriches nach 4 Jahren Freibewitterung auf Feinmörtel (gelöstes Acrylharz auf Hydrophobierung)

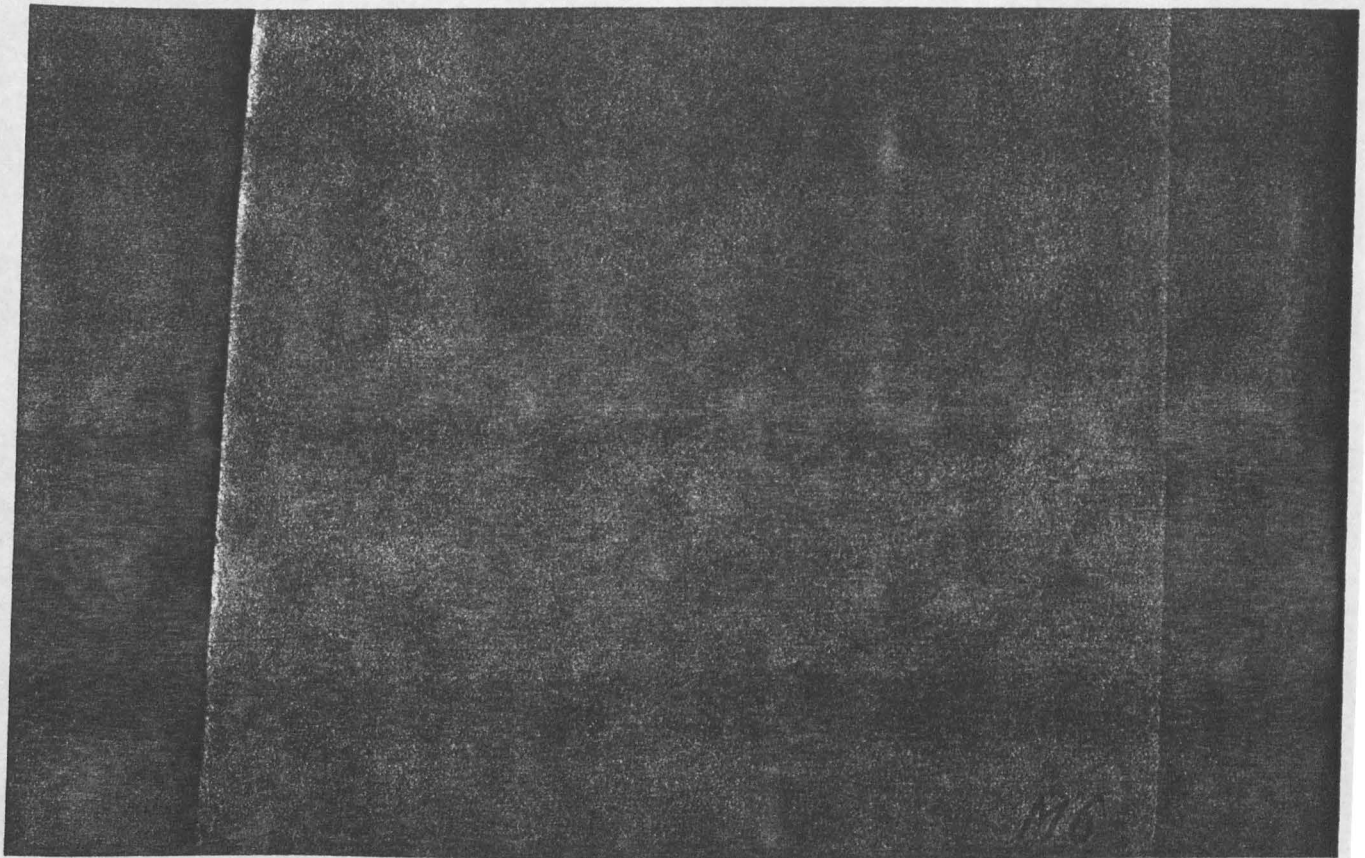


Abb. 16 Optimales Verhalten eines Anstriches nach 4 Jahren Freibewitterung auf Feinmörtel (gelöstes Acrylharz auf Hydrophobierung)

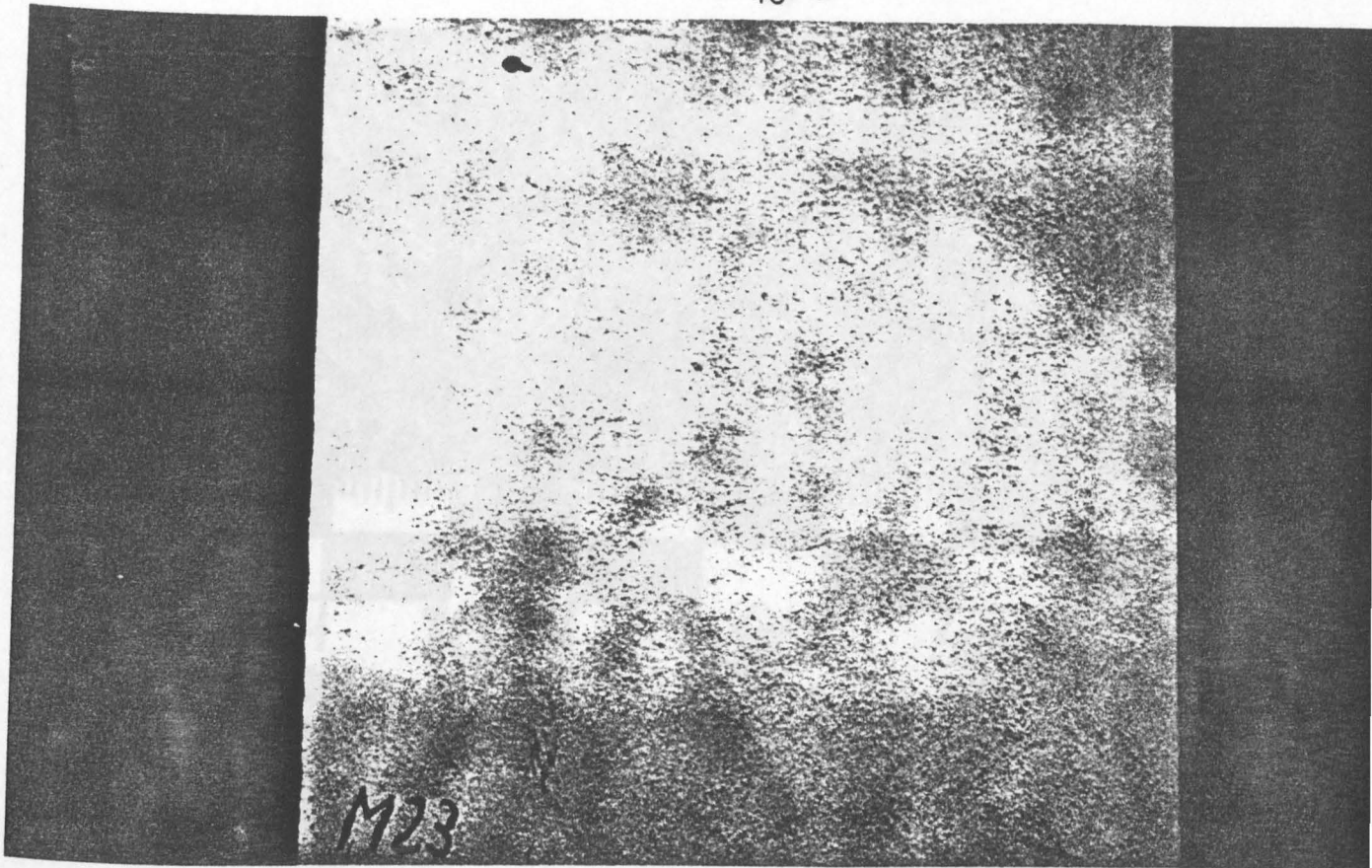


Abb. 17 Instandgesetzte Platte mit kleiner Fehlstelle links oben (unmittelbar nach Fertigstellung), vgl. Abb. 18 u. 19

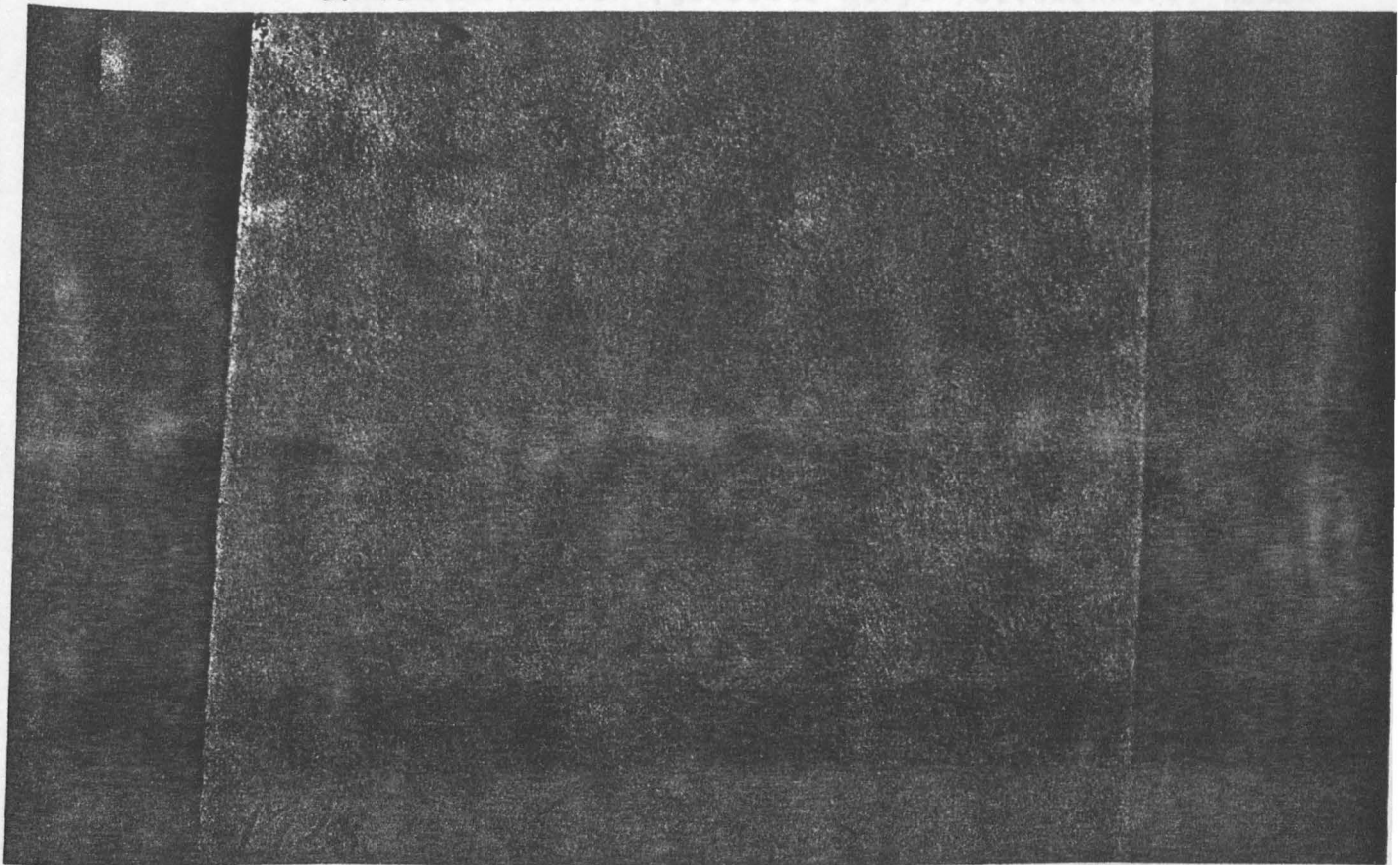


Abb. 18 Gleiche Platte wie Abb. 17 nach 4 Jahren Freibe-
witterung, vgl. auch Abb. 19

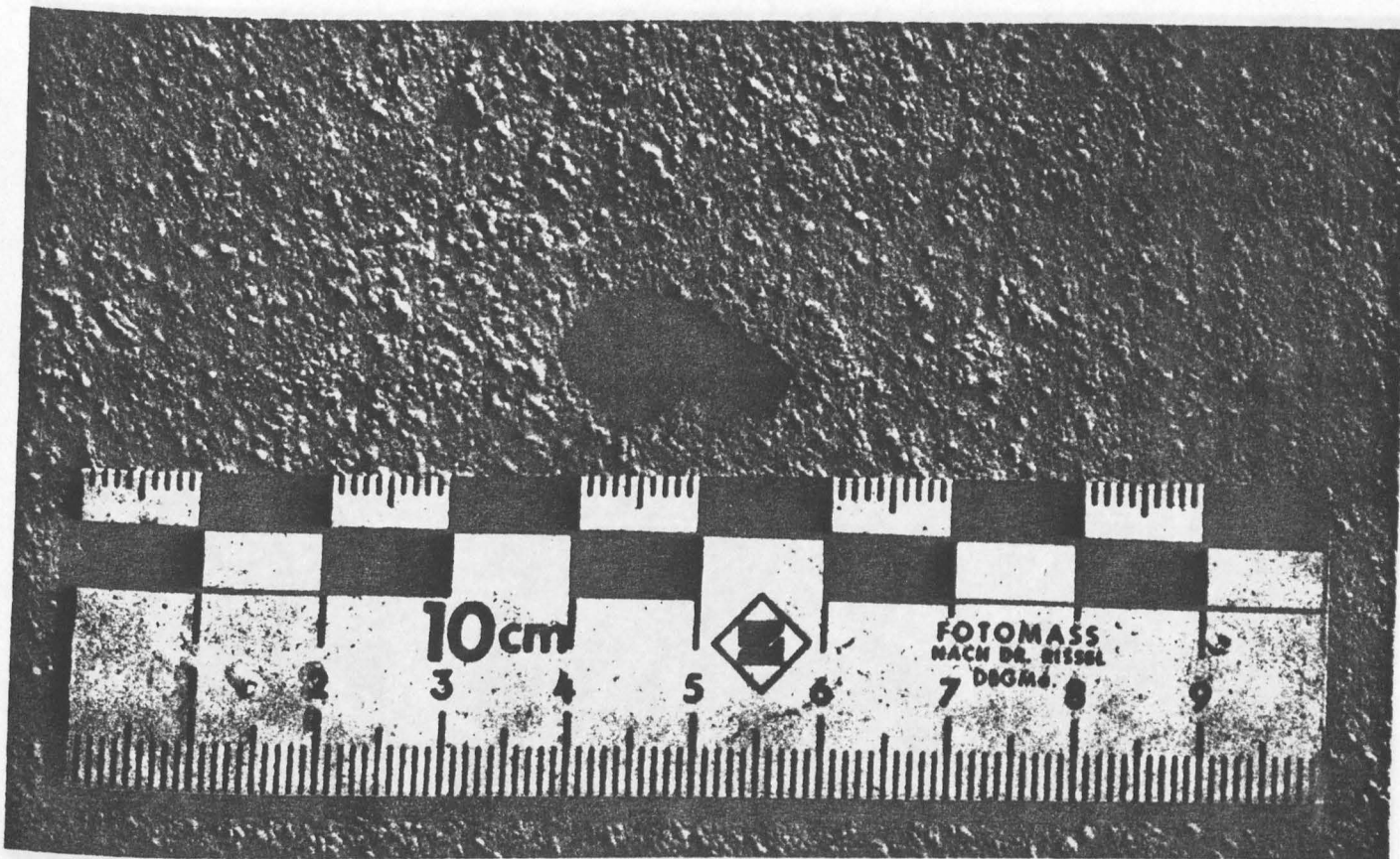


Abb. 19 Fehlstelle von Abb. 17/18 im Detail nach 4 Jahren Freibewitterung. Feinmörtel und Hydrophobierung unter dem Deckanstrich (gelöstes Acryl-/Siloxanharz) haben ein Erweitern der Fehlstelle verhindert

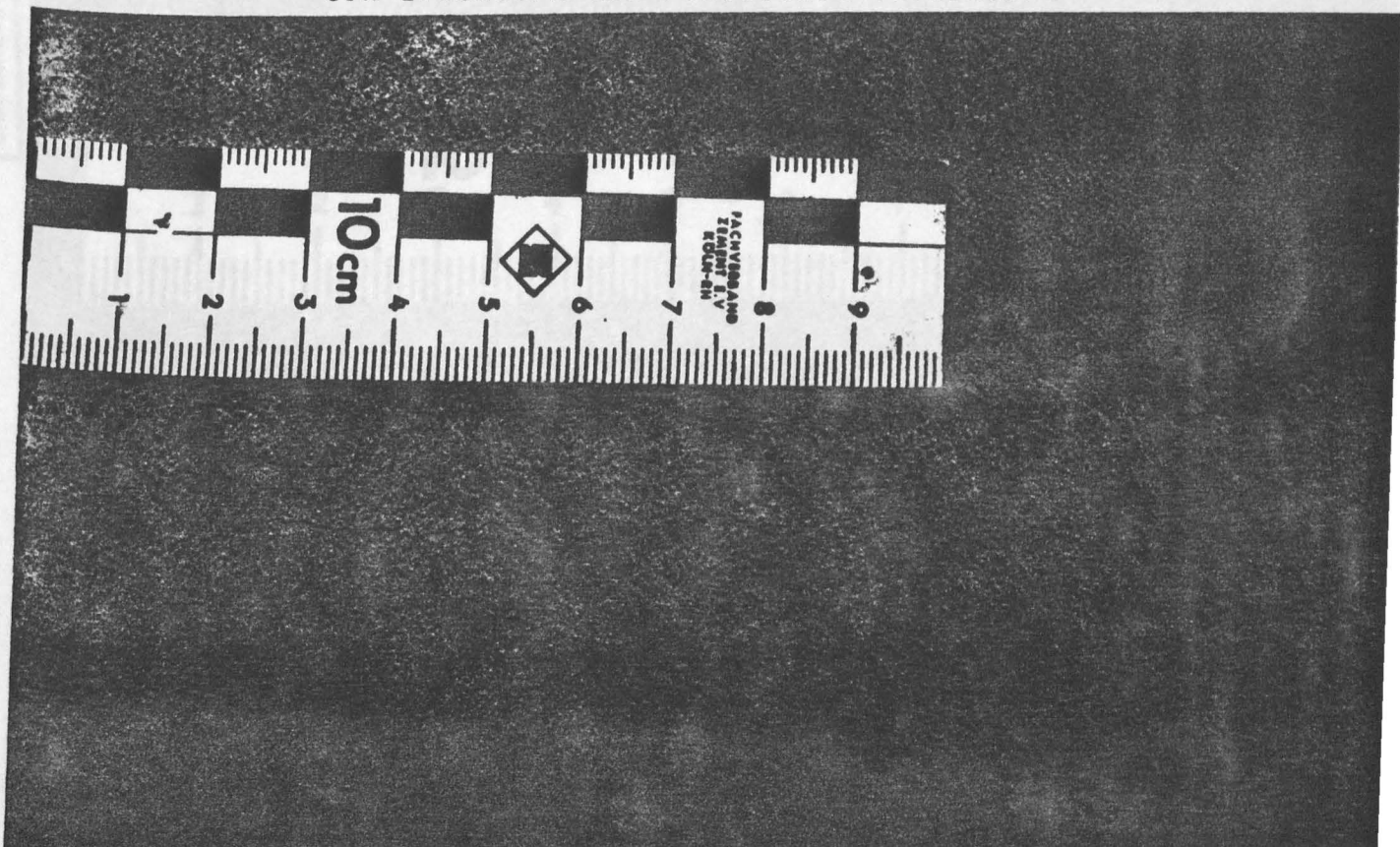


Abb. 20 Feiner Riß in einem Feinmörtel, der trotz 4-jähriger Freibewitterung zu keinem Anstrichschaden (Abblättern, Loslösen usw.) geführt hat. Gelöstes Acrylharz auf Hydrophobierung

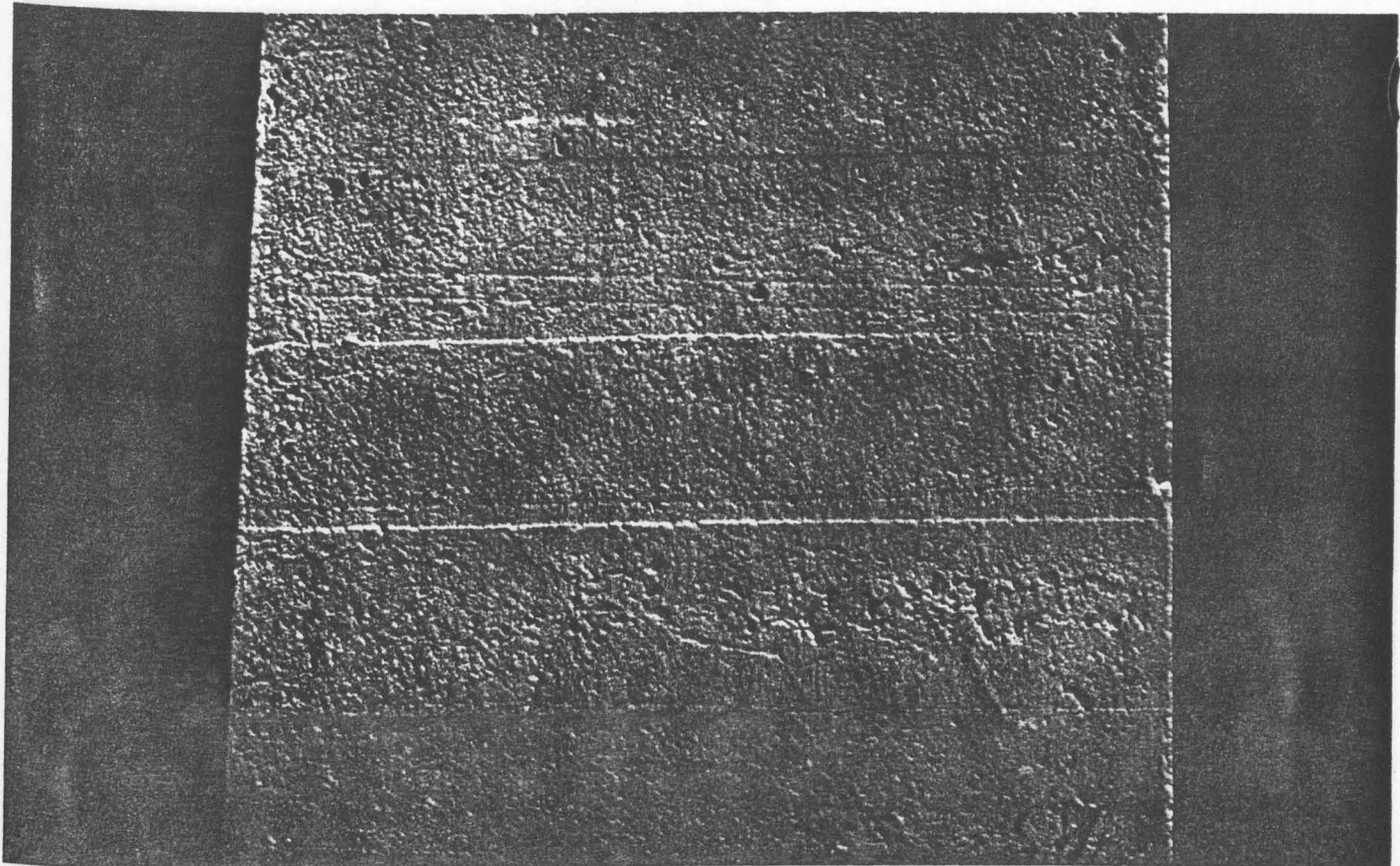


Abb. 21 Fehlstellenfreier Dispersionsanstrich auf rauhem Betonuntergrund nach 4 Jahren Freibewitterung

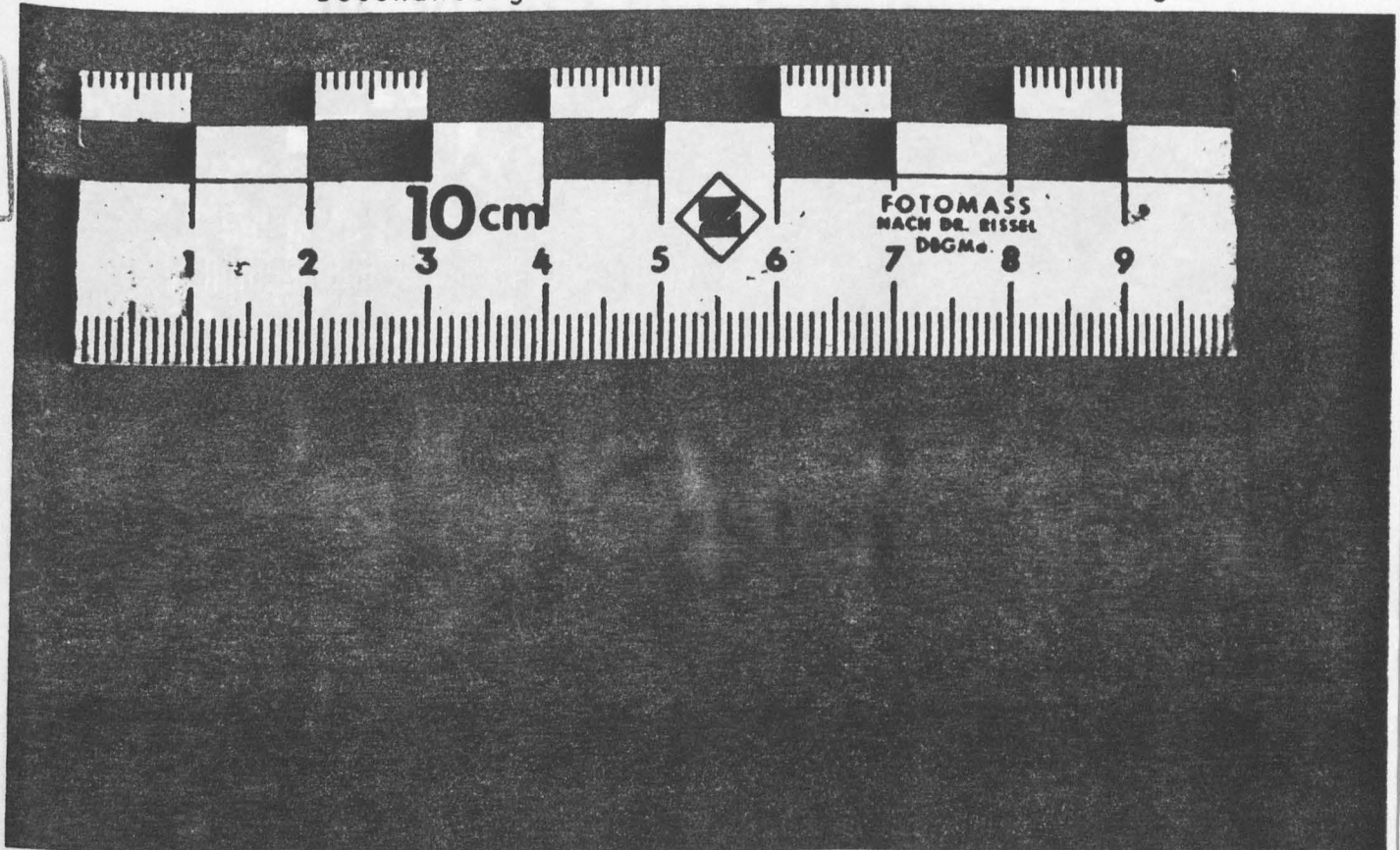


Abb. 22 Erstes, punktuellies Anstrichversagen einer Dispersion nach 4 Jahren Freibewitterung

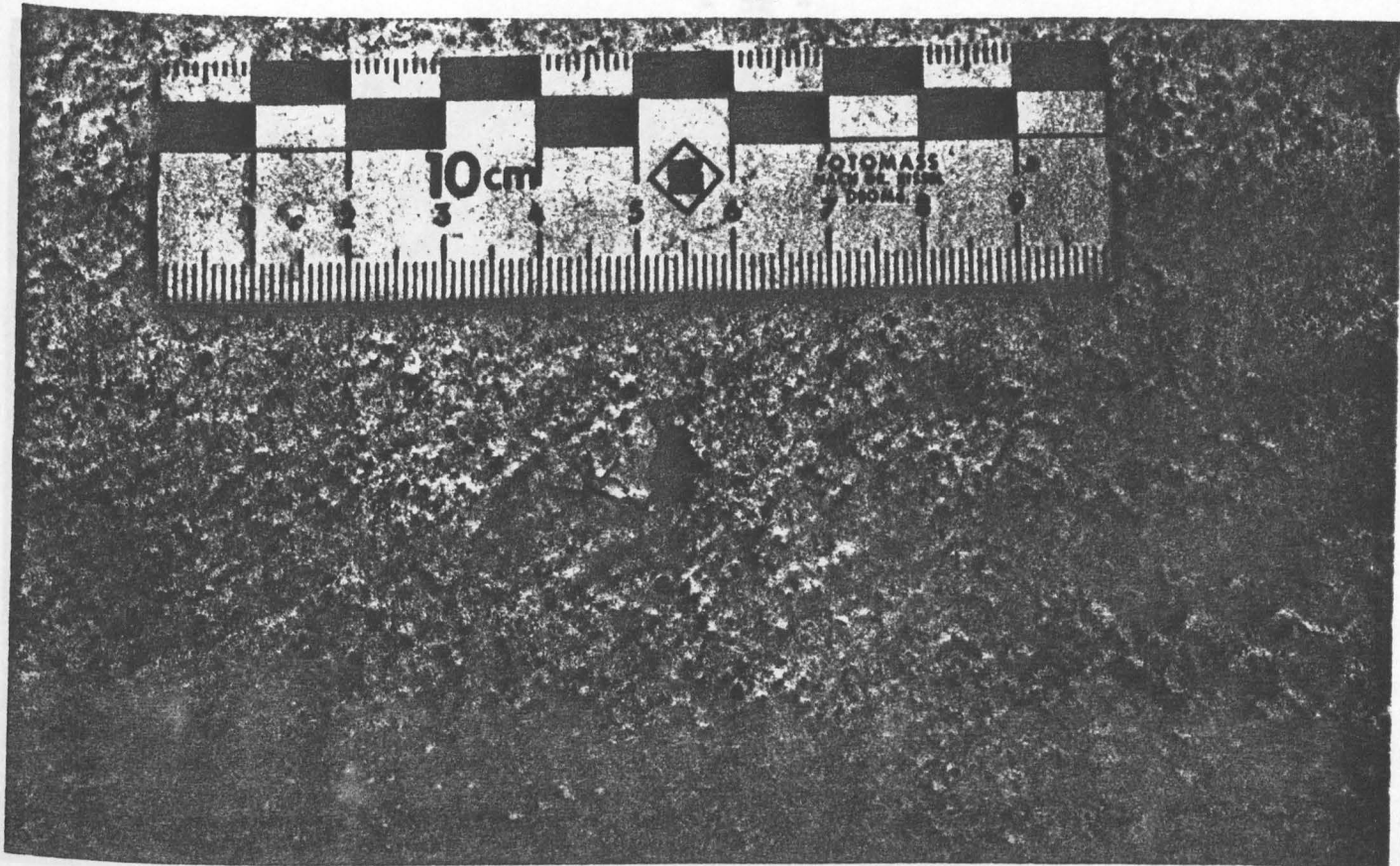


Abb. 23 Anstrichversagen einer Dispersion aufgrund einer Unverträglichkeit mit dem Reparaturmörtel (vgl. Abb. 24) nach 4 Jahren Freibewitterung

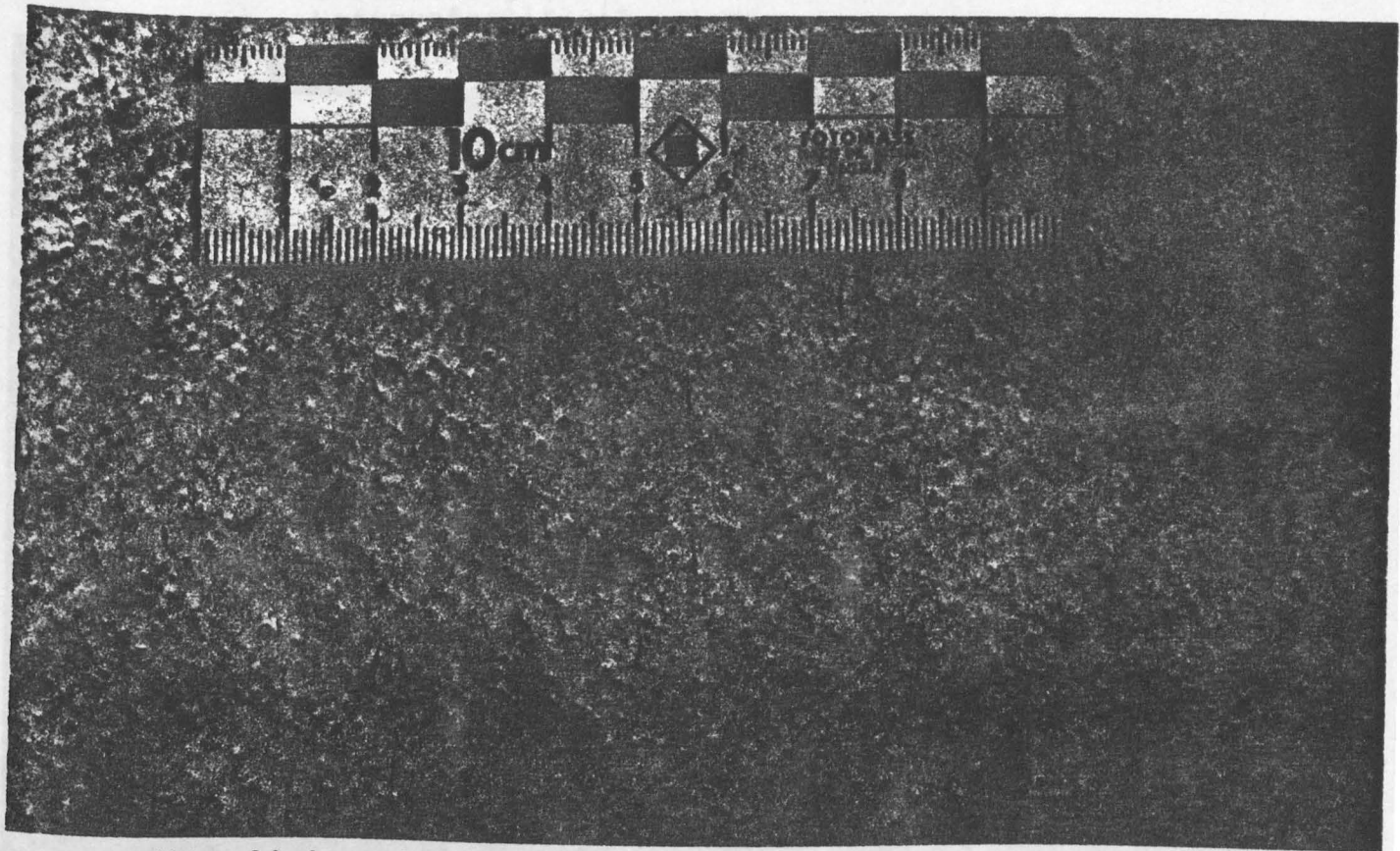


Abb. 24 Anstrichversagen (feine Risse) oberhalb einer Reparaturmörtelplombe (Bildmitte). Am linken und rechten Bildrand besteht der Untergrund aus Beton (vgl. Abb. 23), 4 Jahre freibewittert

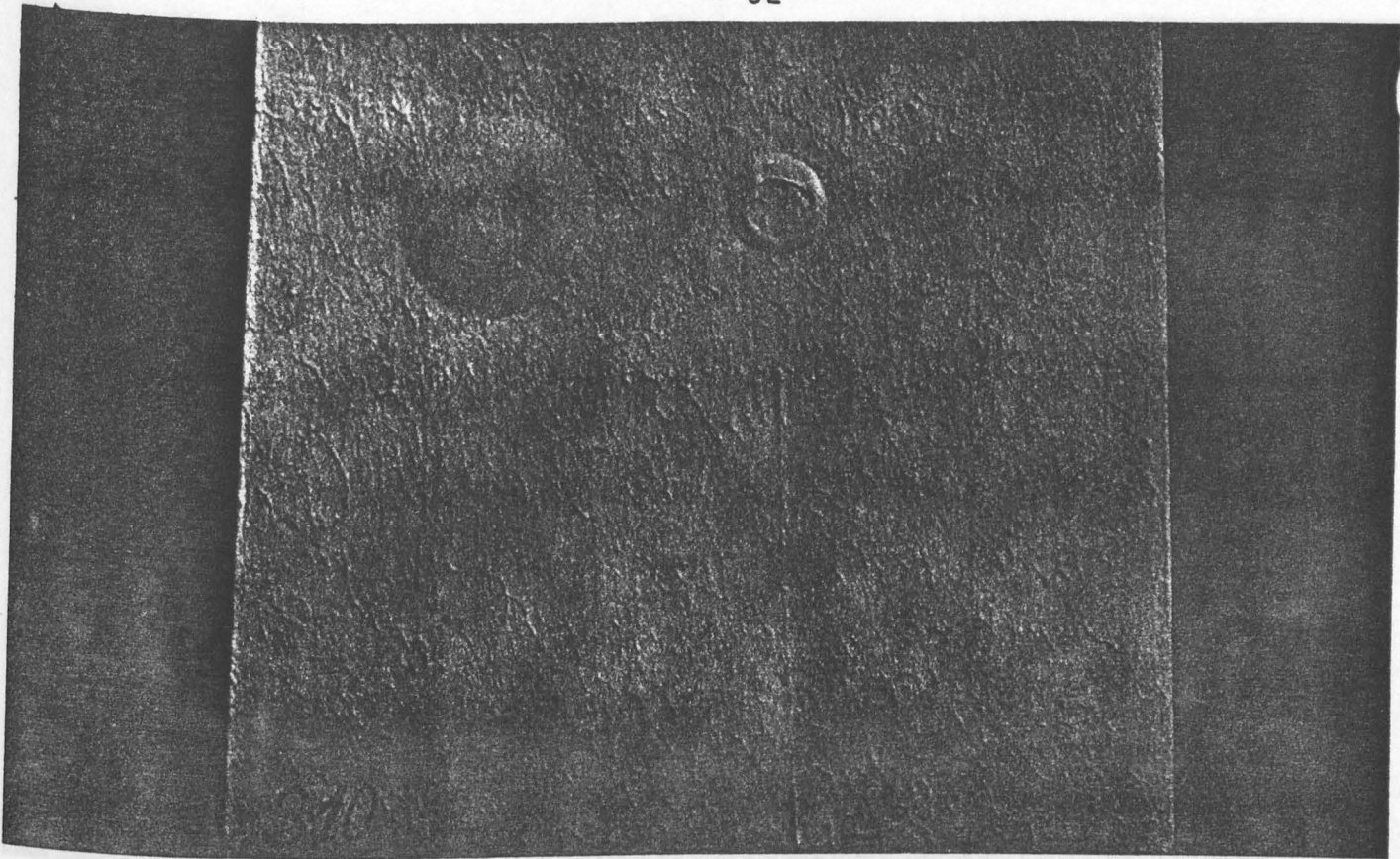


Abb. 25 Blasenbildung bei Sonneneinstrahlung an einer Beschichtung mit elastischer Grundierung. Diese Grundierung besitzt offenbar eine sehr geringe Haftzugfestigkeit

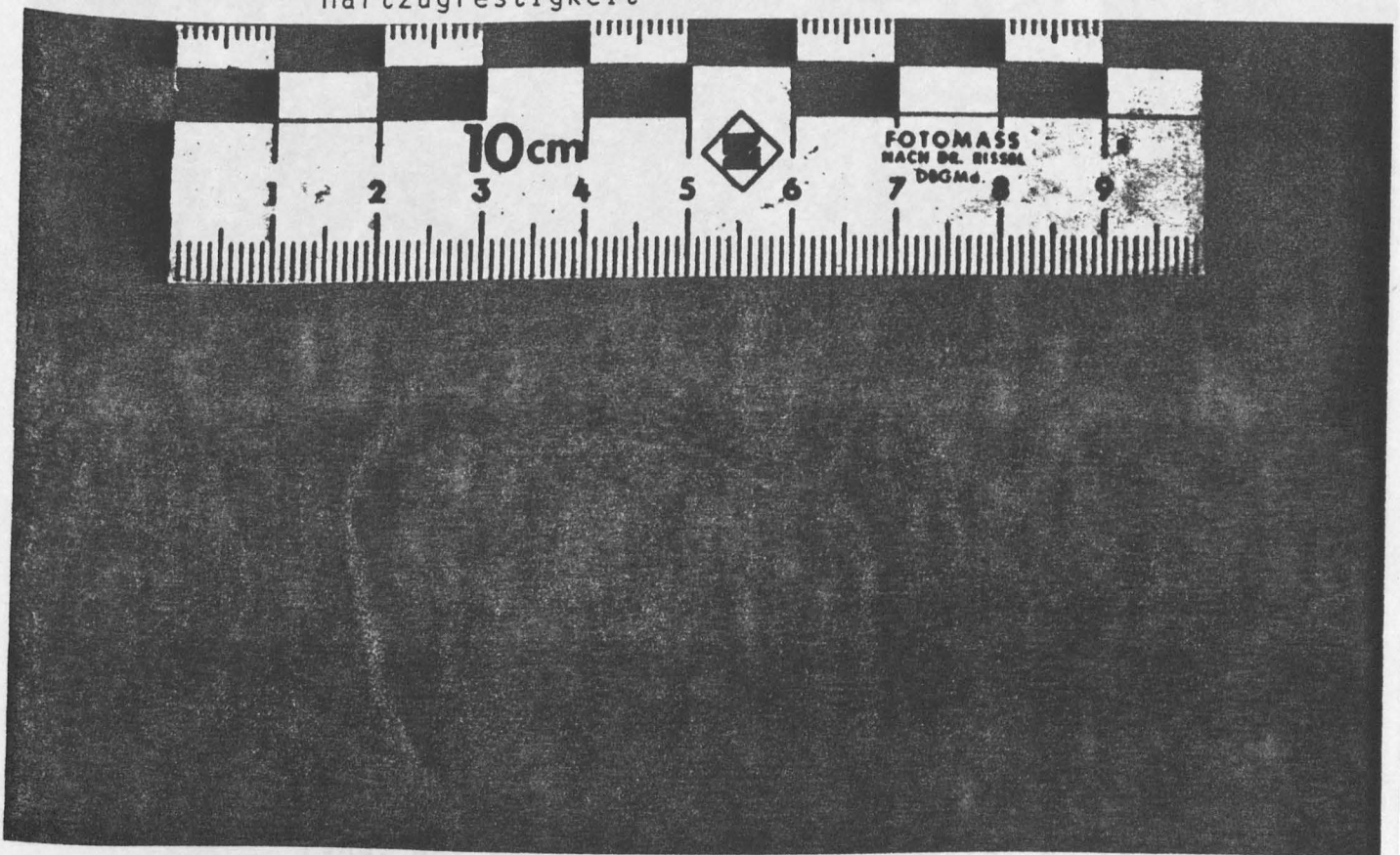


Abb. 26 Kleinere Blase aus Abb. 25 im Detail nach Abkühlung der Platte (abends). Nach 4-jähriger Freibewitterung ist die Beschichtung trotz der dynamischen Beanspruchung im Bereich der Blase noch nicht gebrochen

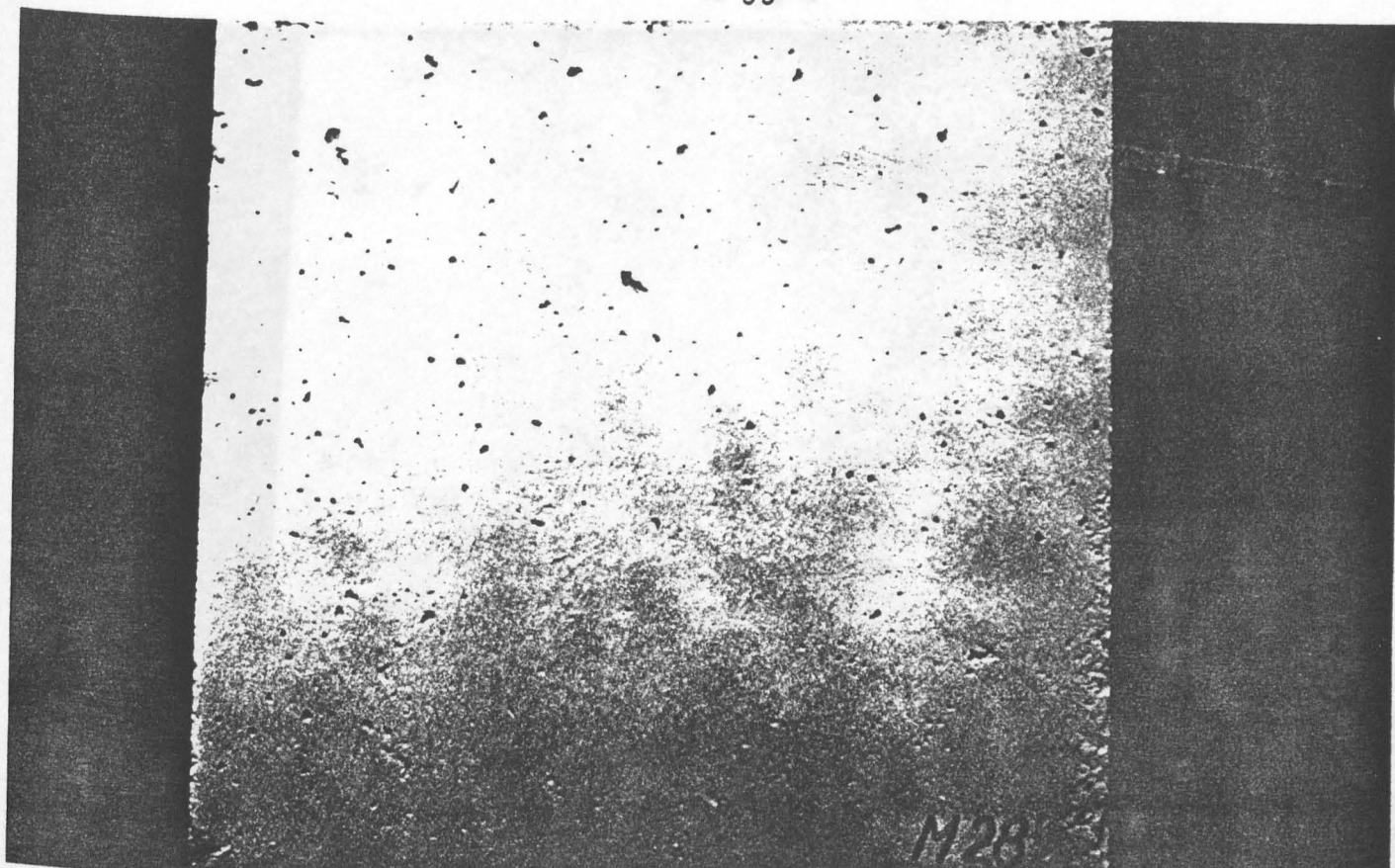


Abb. 27 Beschichtung einer Platte mit sog. Elastic-Dispersion (Neuzustand), vgl. Abb. 28

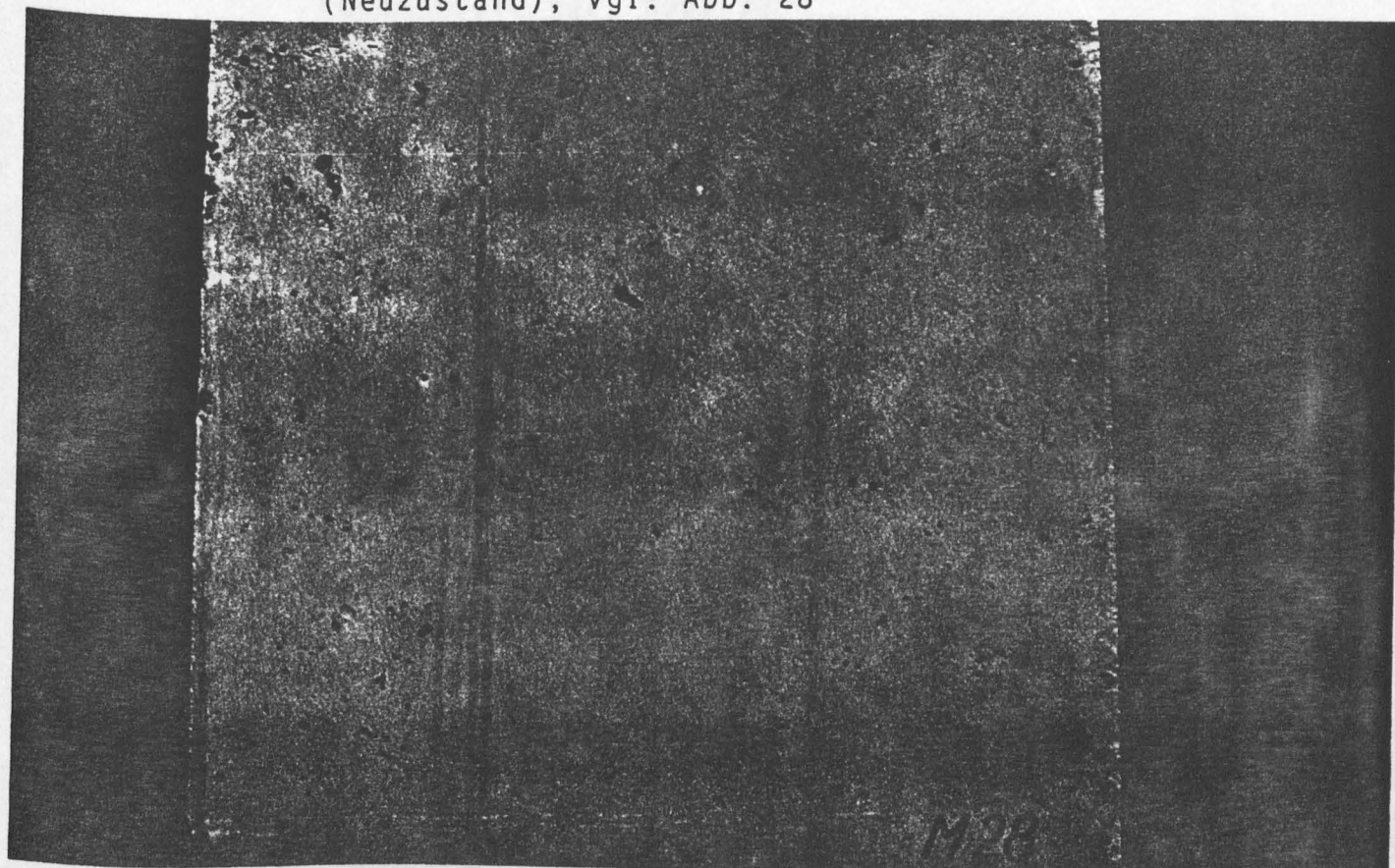


Abb. 28 Gleiche Platte wie Abb. 27 nach 4 Jahren Freibewitterung. Der Anstrich ist völlig fehlstellenfrei, aber verschmutzt

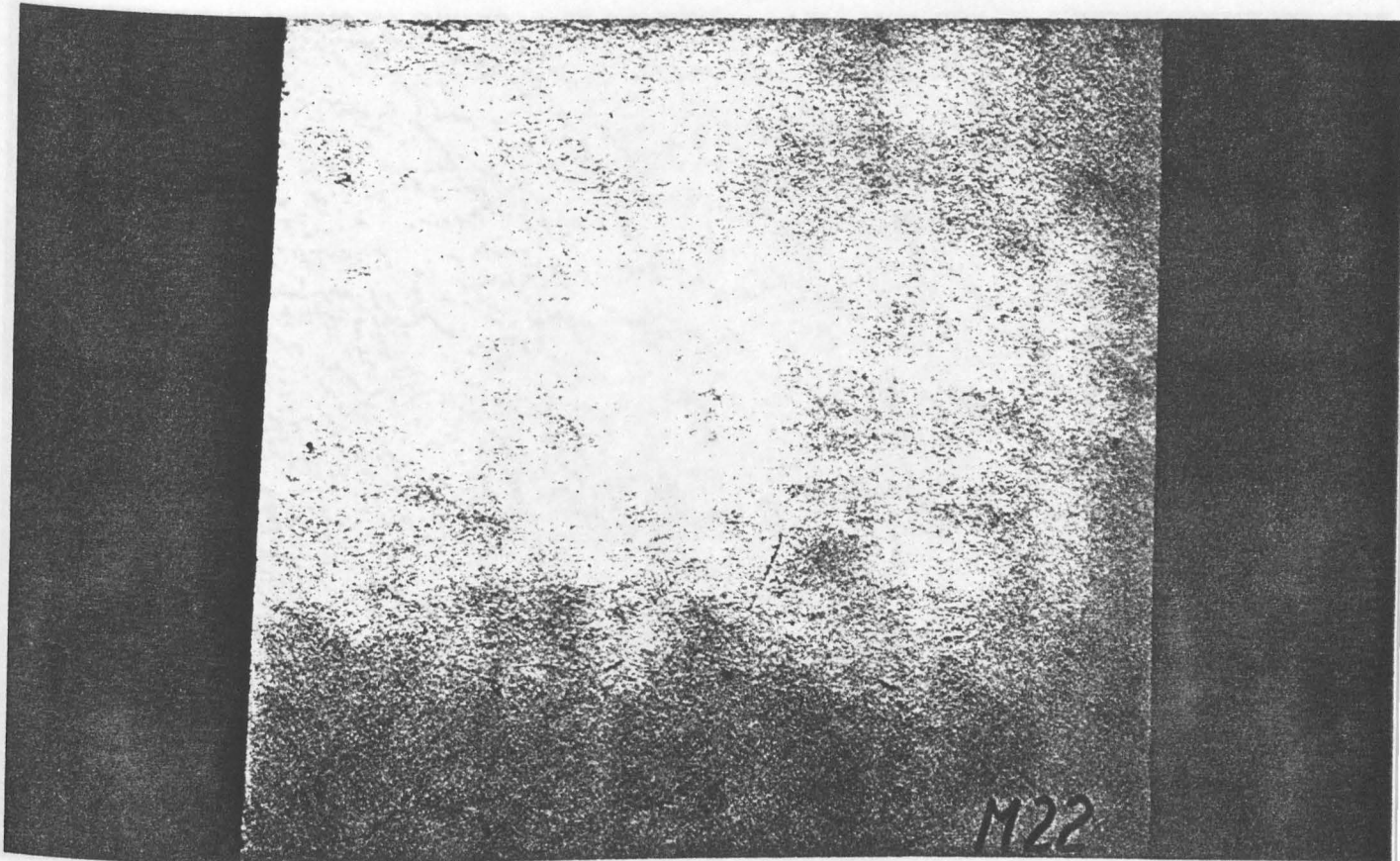


Abb. 29 Gleiche Beschichtung wie Abb. 27, Neuzustand, auf Feinmörtel, vgl. Abb. 30

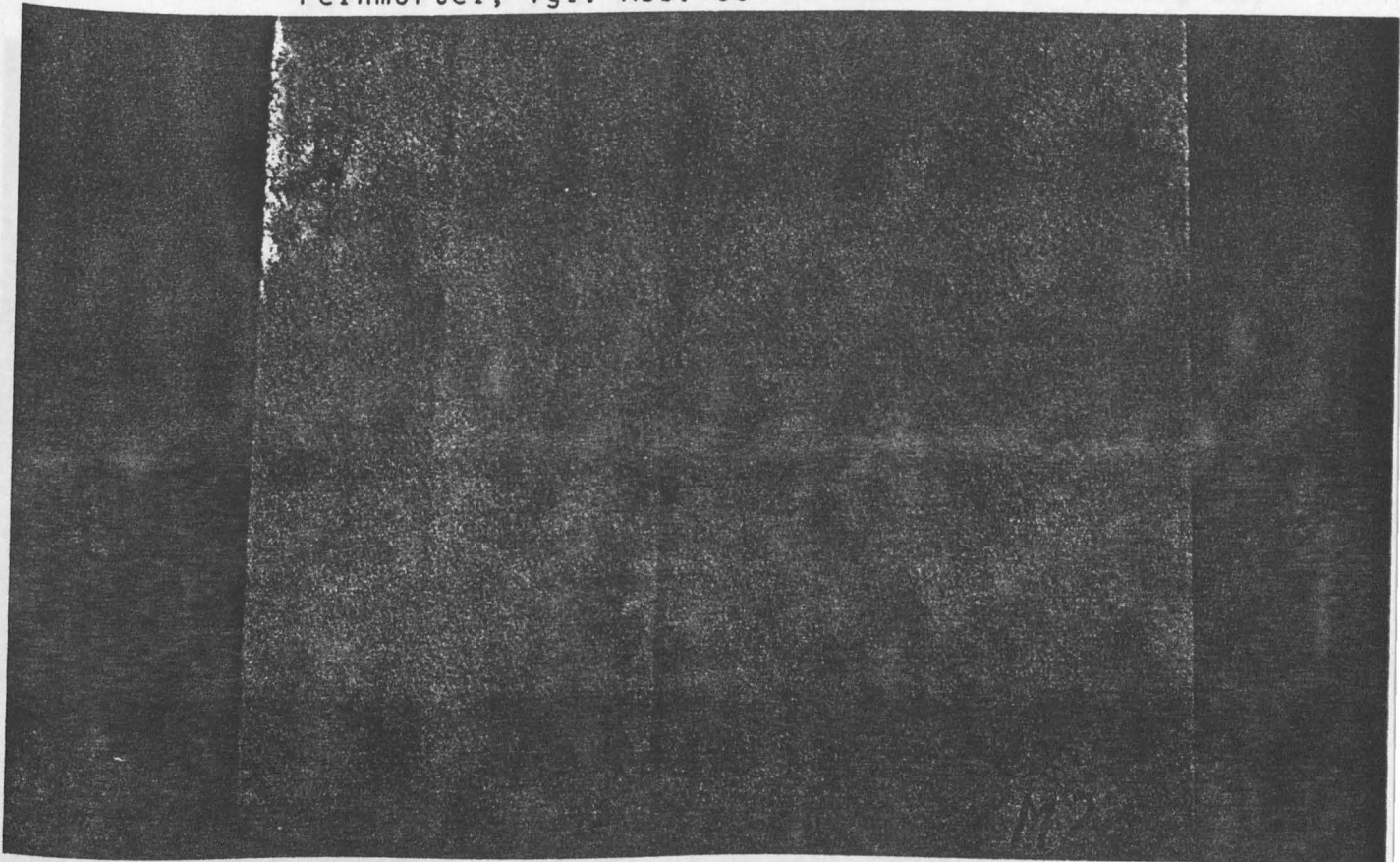


Abb. 30 Platte der Abb. 29 nach 4 Jahren Freibewitterung völlig fehlstellenfrei, aber verschmutzt

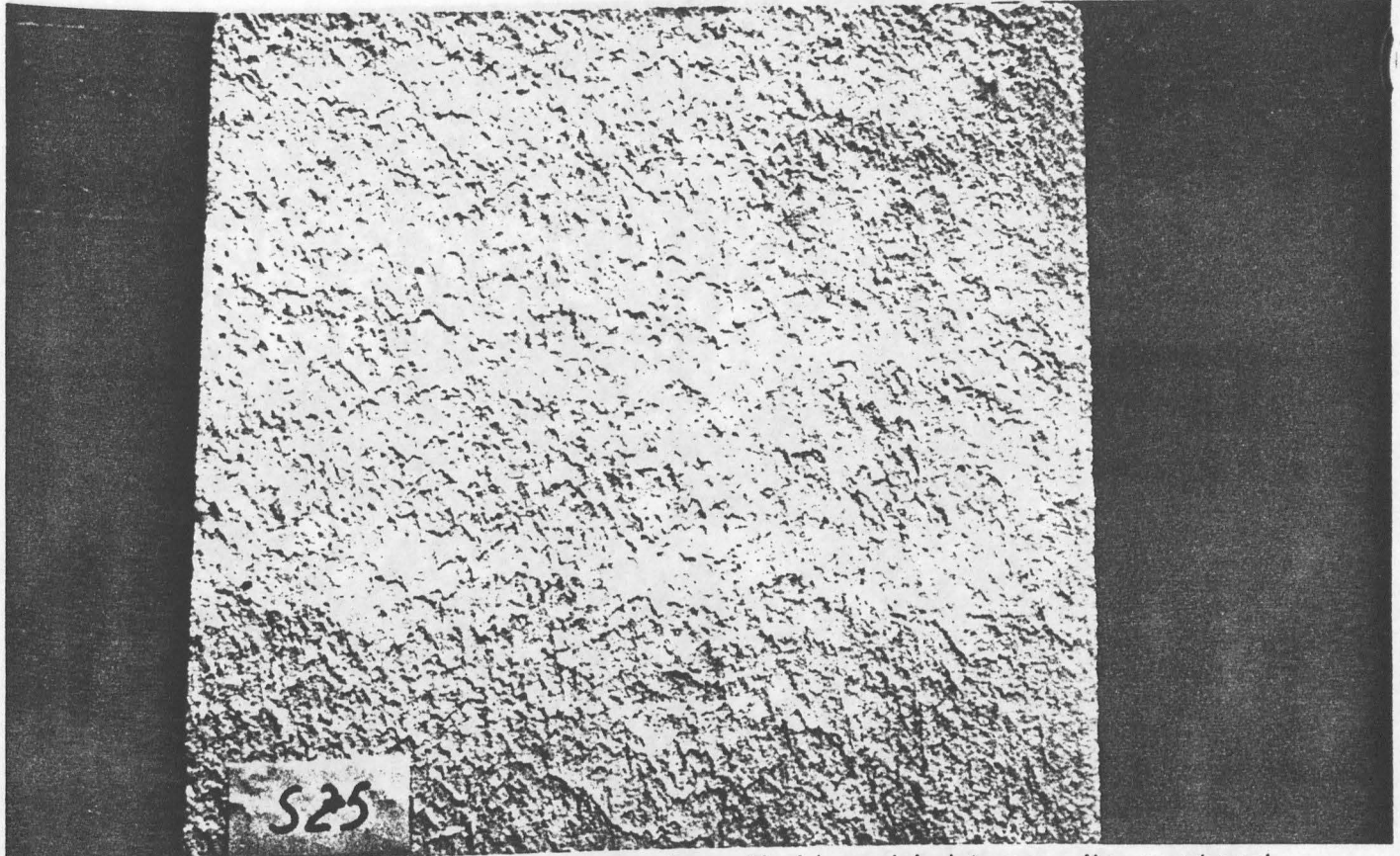


Abb. 31 Aufgerollte Dispersionsdickbeschichtung, Neuzustand (die Platte ist hier falsch bezeichnet, richtig ist S 16), vgl. Abb. 32

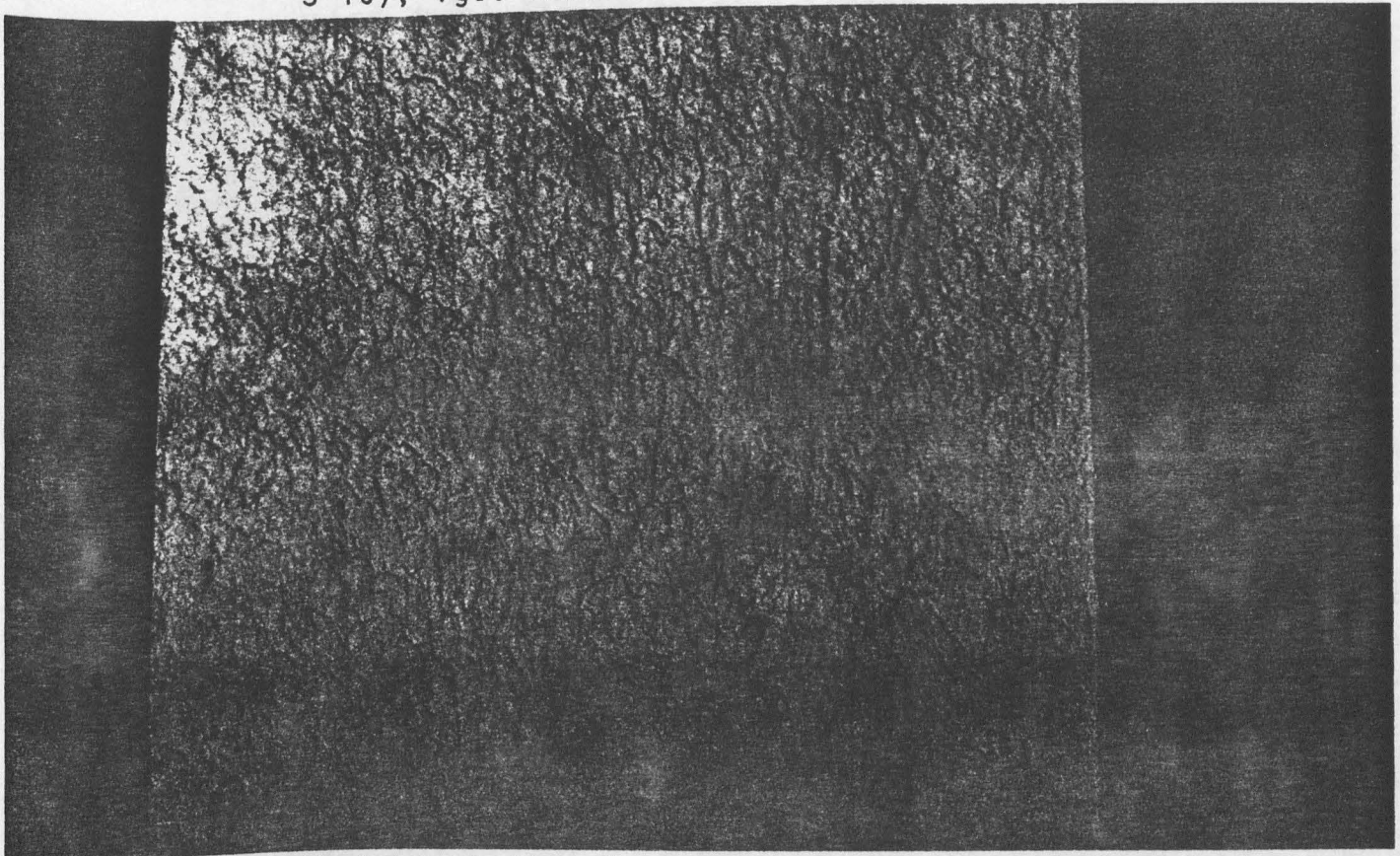


Abb. 32 Gleiche Platte wie in Abb. 31 nach 4-jähriger Freibewitterung. Der Anstrich ist fehlstellenfrei aber verschmutzt

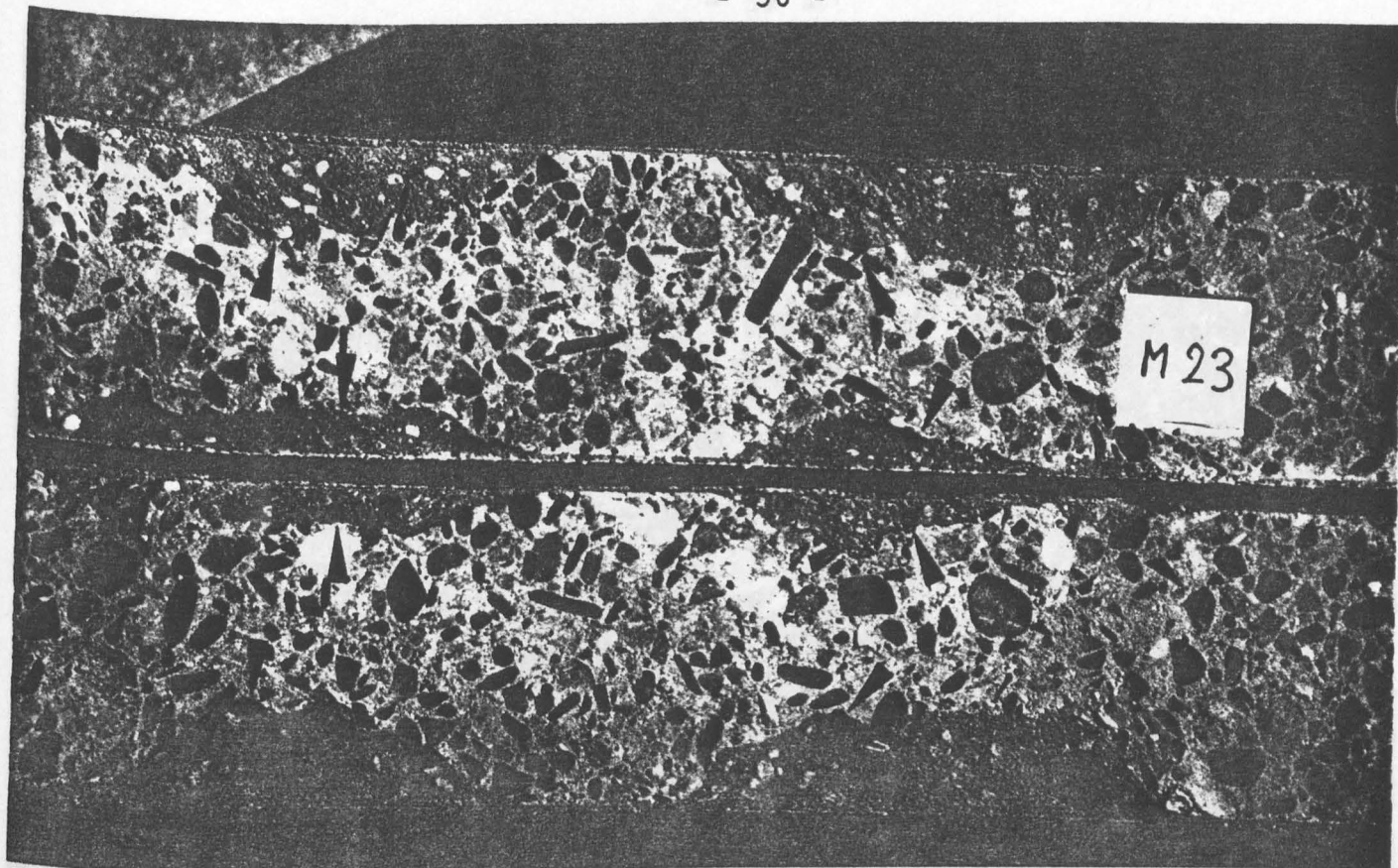


Abb. 33 Aufgeschnittene Platte mit instandgesetzten, künstlichen Fehlstellen nach 4 Jahren Freibewitterung. Die Bewehrungsstähle mit 20 bzw. 5 mm Überdeckung sind durch Pfeile gekennzeichnet

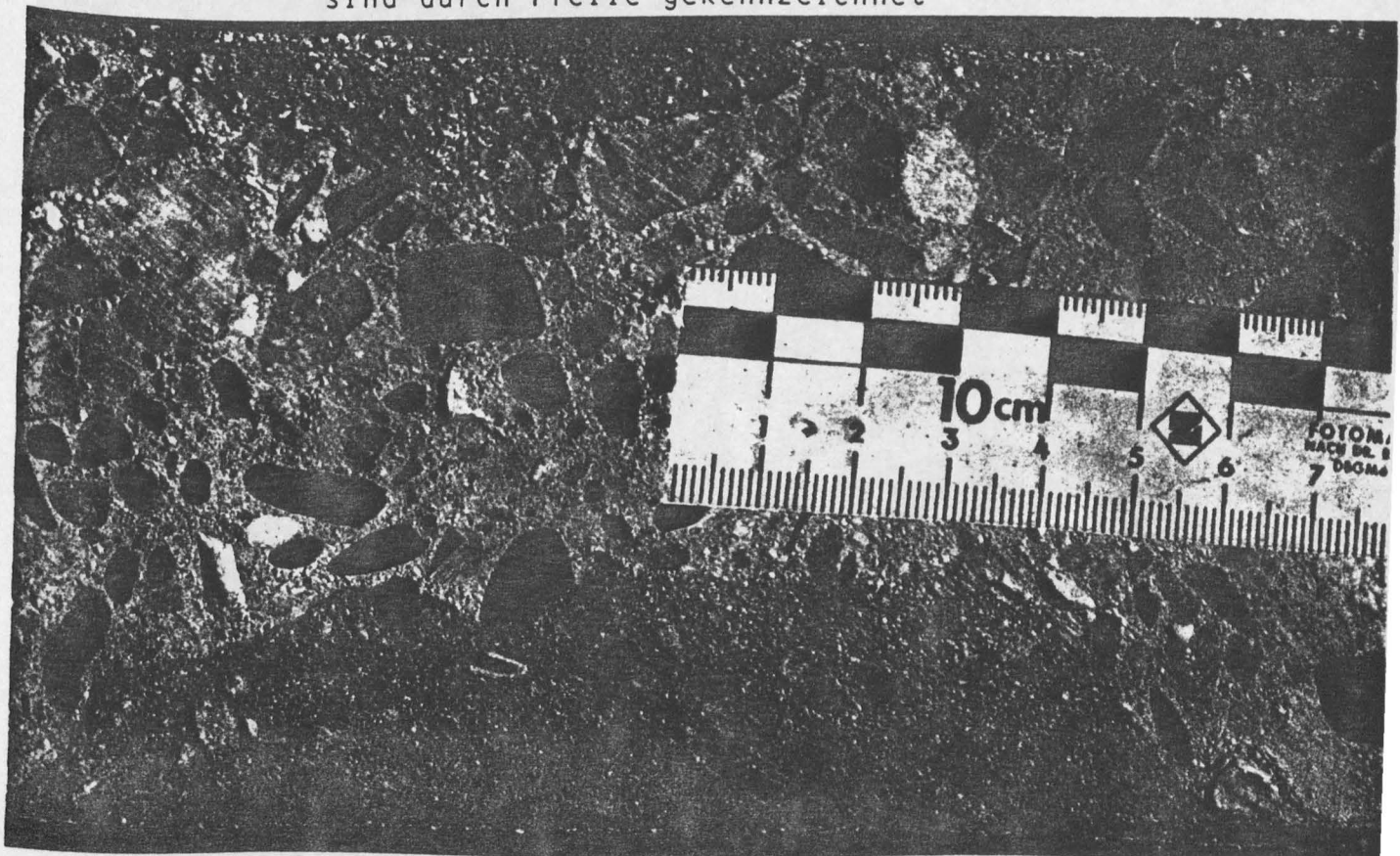


Abb. 34 Detail aus Abb. 33, zu erkennen sind die Stähle mit Korrosionsschutz, der Grob- und der Feinmörtel

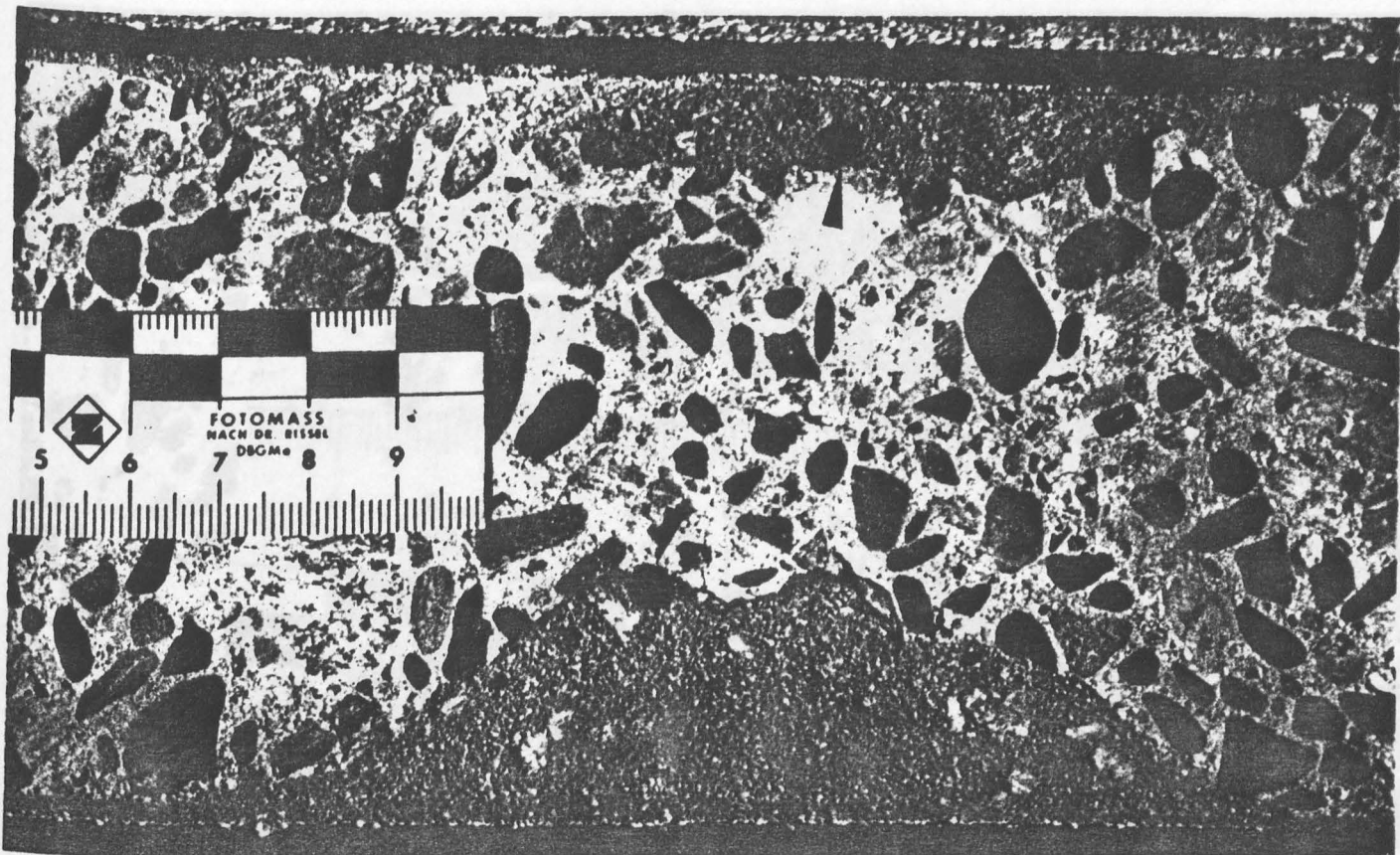


Abb. 35 Detail aus Abb. 33, vgl. auch Abb. 34

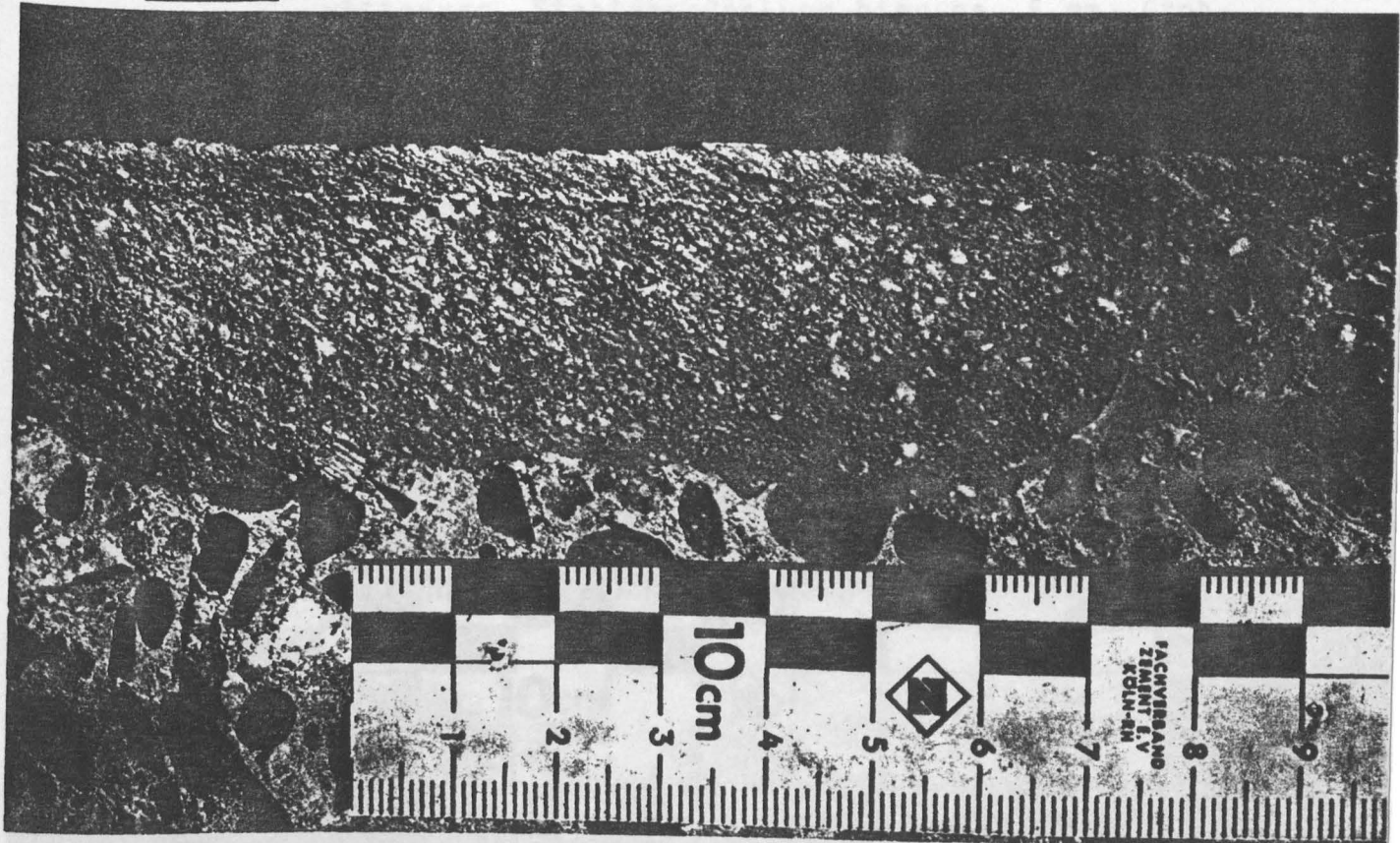


Abb. 36 Wie Abb. 35, jedoch anderer Systemhersteller. Auch hier können korrosionsgeschützter Stahl, Grob- und Feinmörtel im Reparaturbereich deutlich erkannt werden (4 Jahre freibewittert)

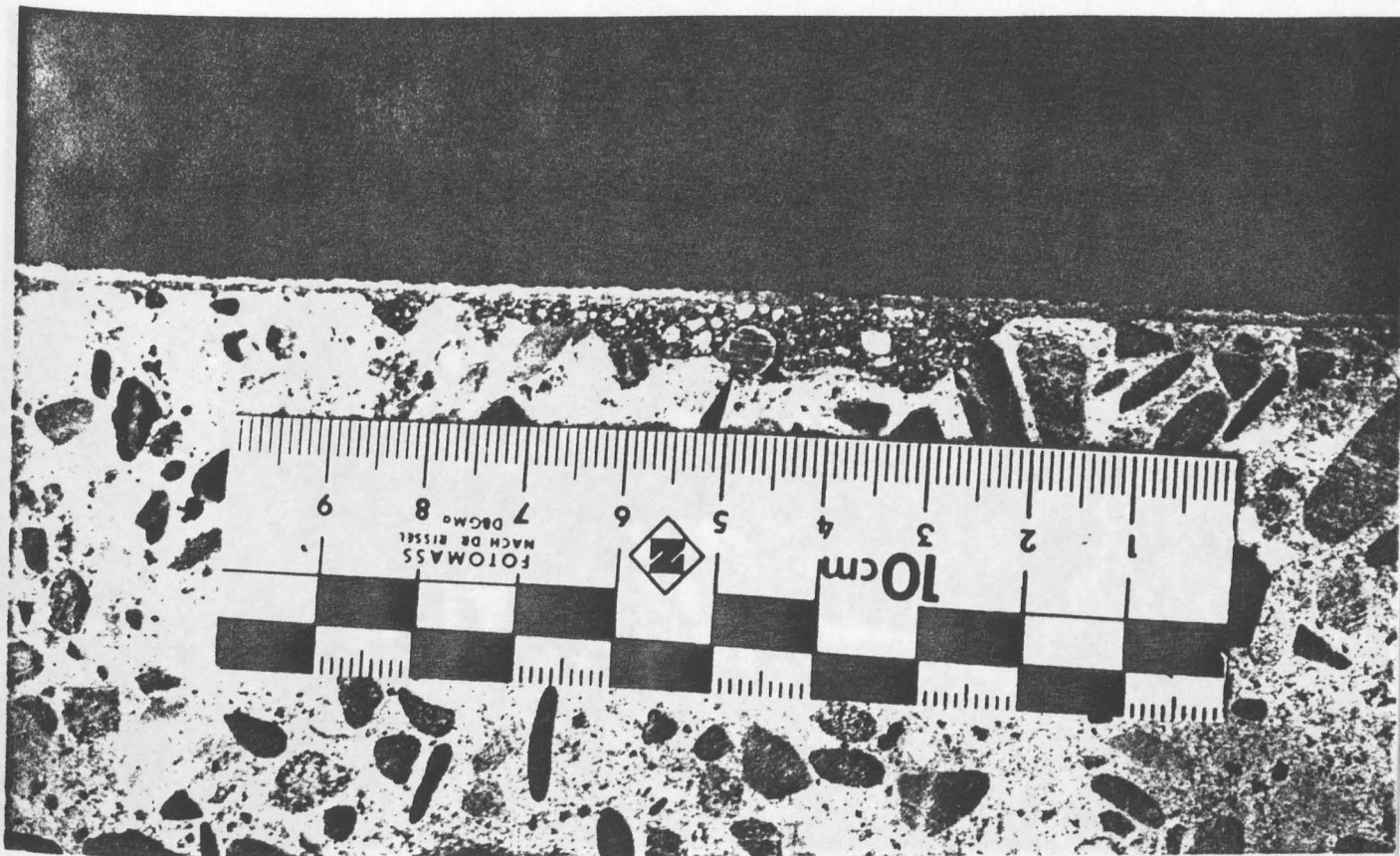


Abb. 37 Detail einer Reparaturstelle nach 4 Jahren Freibewitterung. Stahlüberdeckung hier ca. 5 mm. Grobmörtel der Plombe und Feinmörtelüberzug sind deutlich zu erkennen

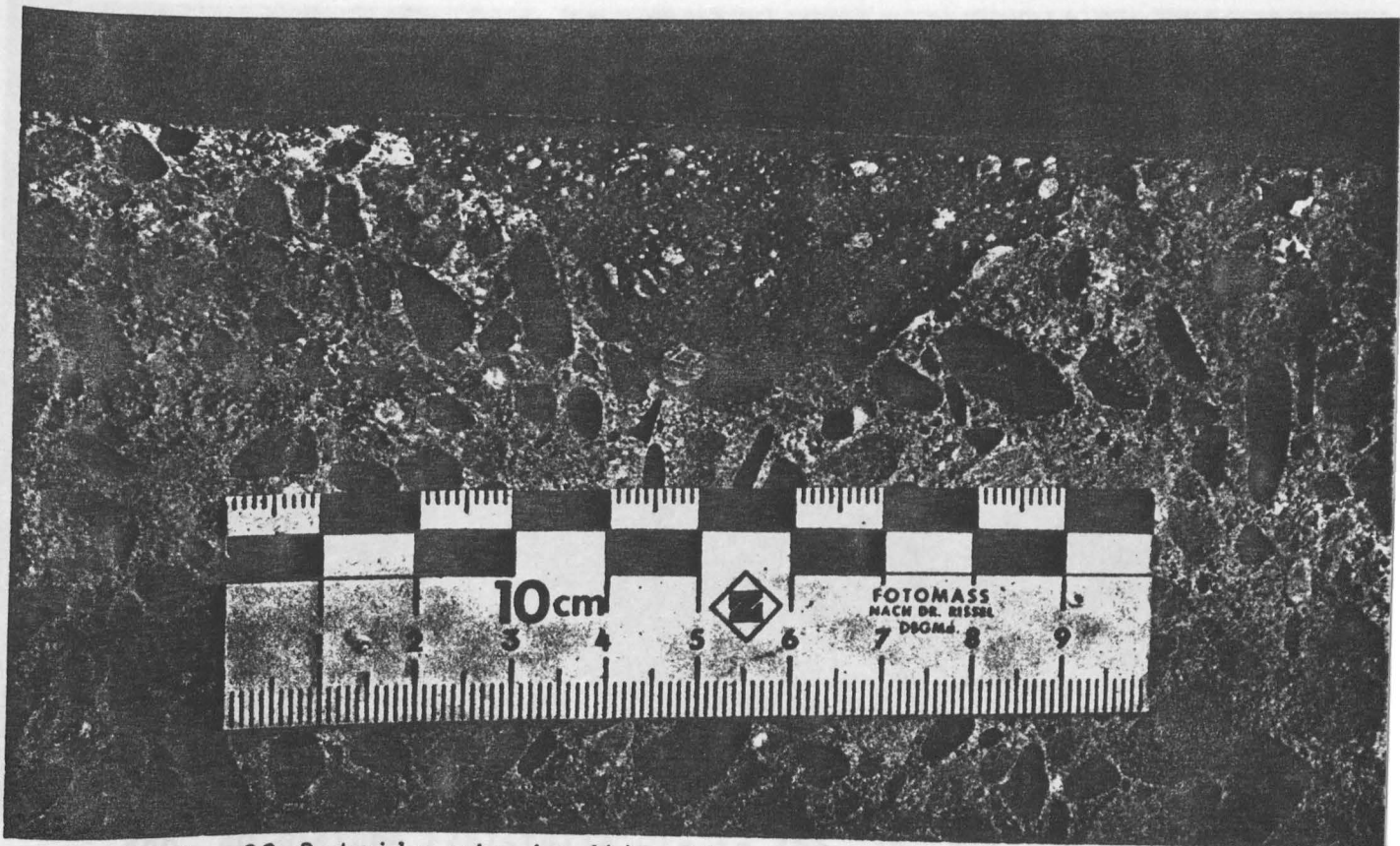


Abb. 38 Details wie in Abb. 37, jedoch bei einer Stahlüberdeckung von ca. 20 mm (4 Jahre freibewittert)

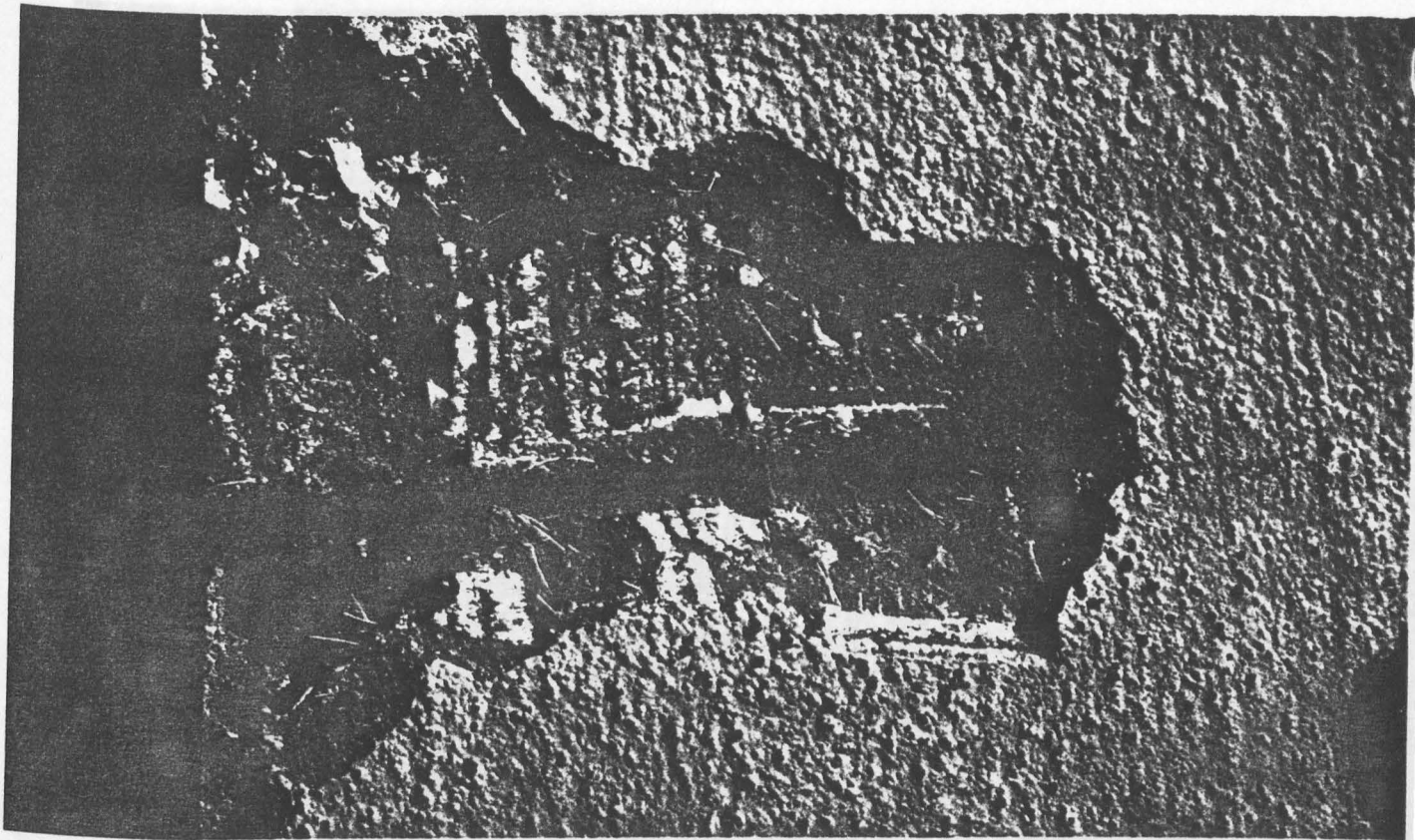


Abb. 39 Kein auffälliger Trennbruch in der Reparaturmörtelplombe beim Abstemmen. Der Korrosionsschutzanstrich des Stahls ist unbeschädigt. Der eingestreute Haftquarz ist mit dem Mörtel abgerissen

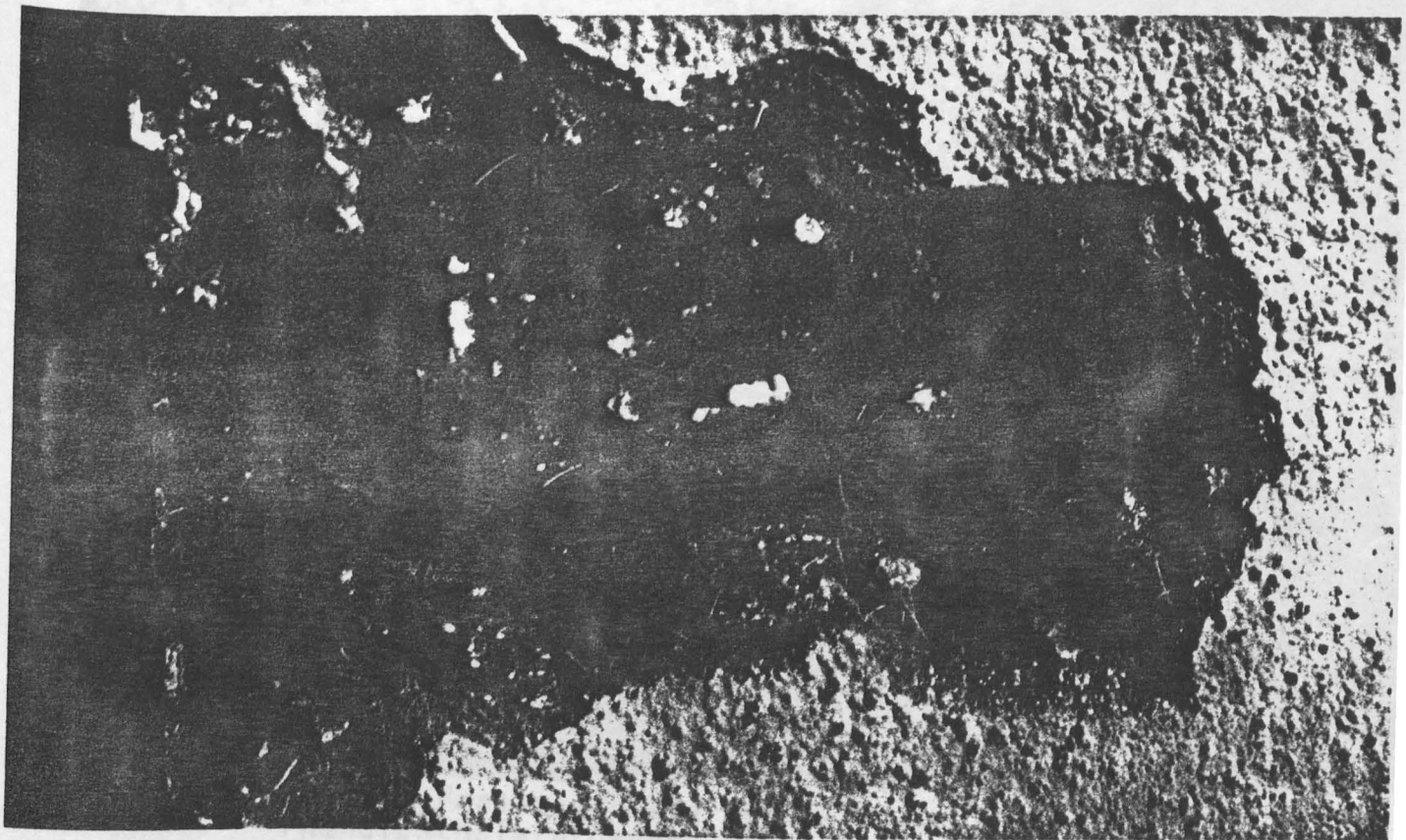


Abb. 40 Gleiche Fehlstelle wie in Abb. 39. Keine Karbonatisierung im Mörtel

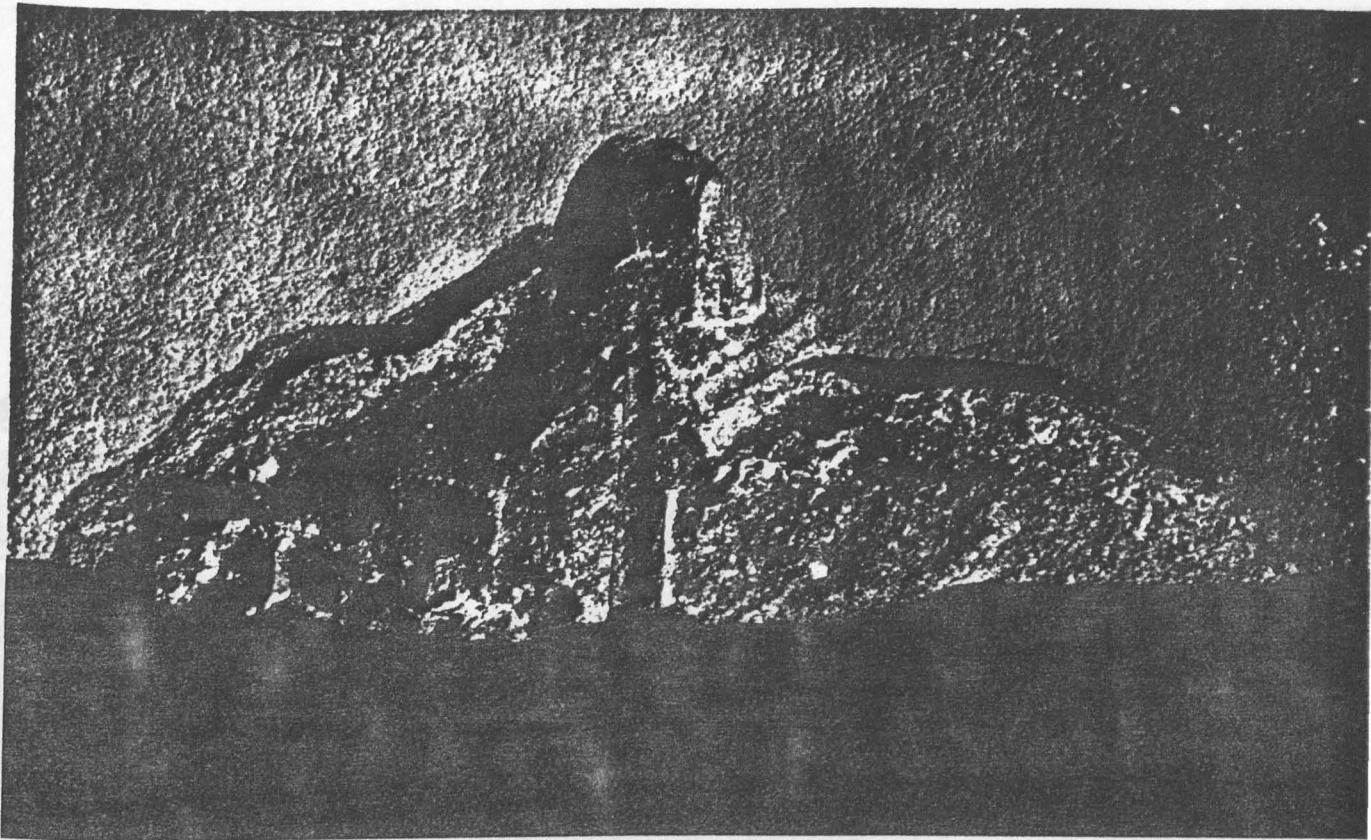


Abb. 41 Aufgestemmte Reparaturstelle nach 4 Jahren Freibe-
witterung. Keine Auffälligkeiten oder Schäden

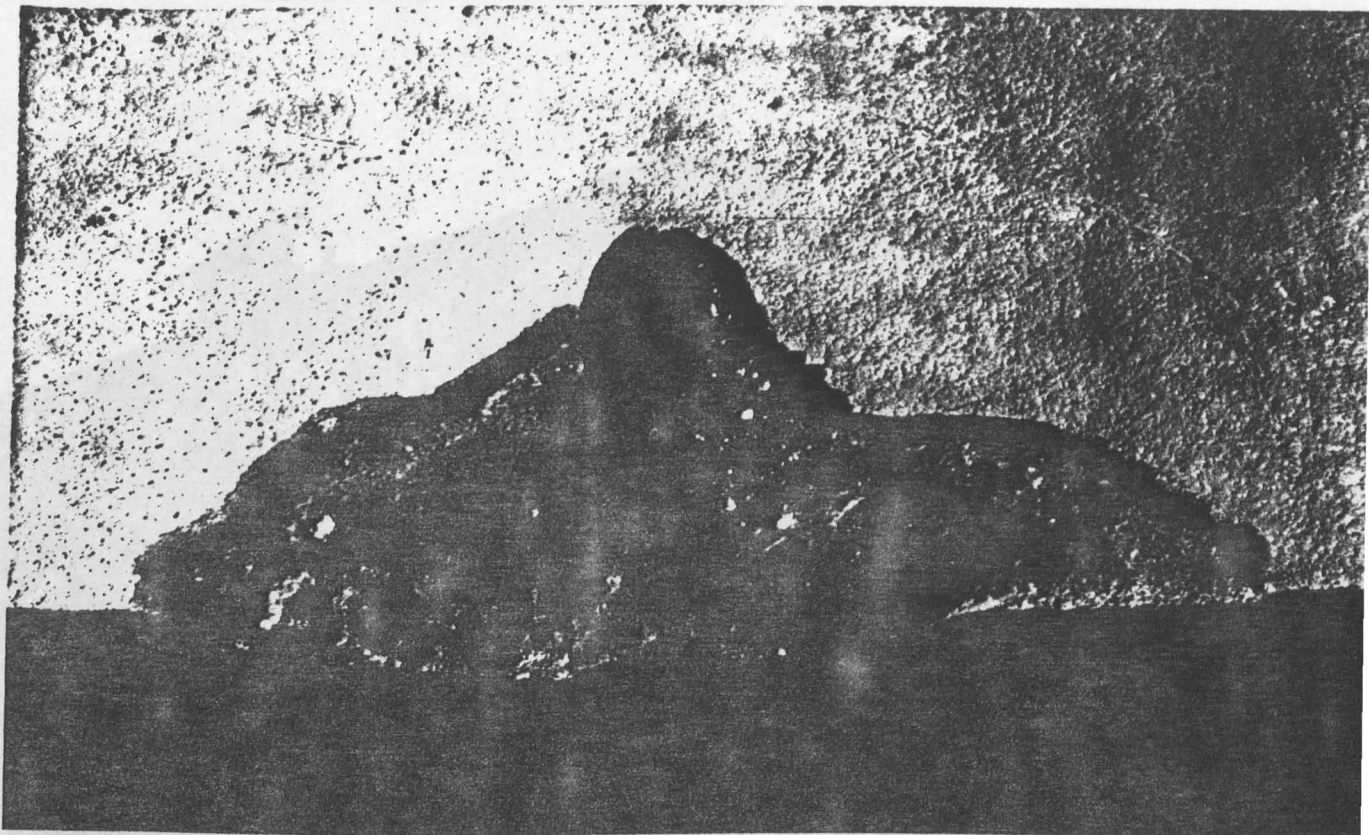


Abb. 42 Gleiche Fehlstelle wie Abb. 41 nach Besprühen mit
Phenolphthaleinlösung. Keine Karbonatisierung

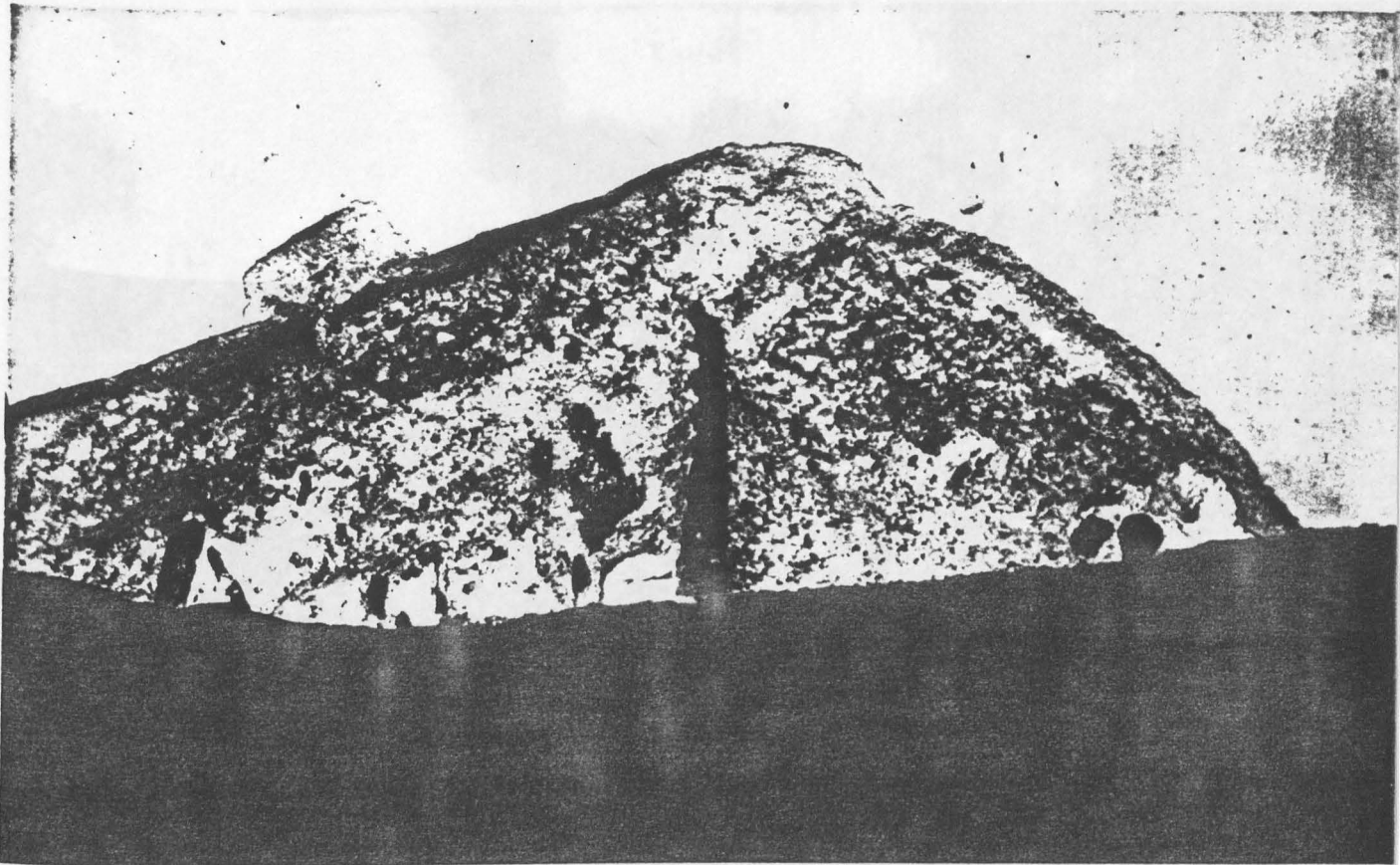


Abb. 43 Aufgestemmt Reparaturstelle nach 4 Jahren Freibe-
witterung. Keine Auffälligkeiten oder Schäden

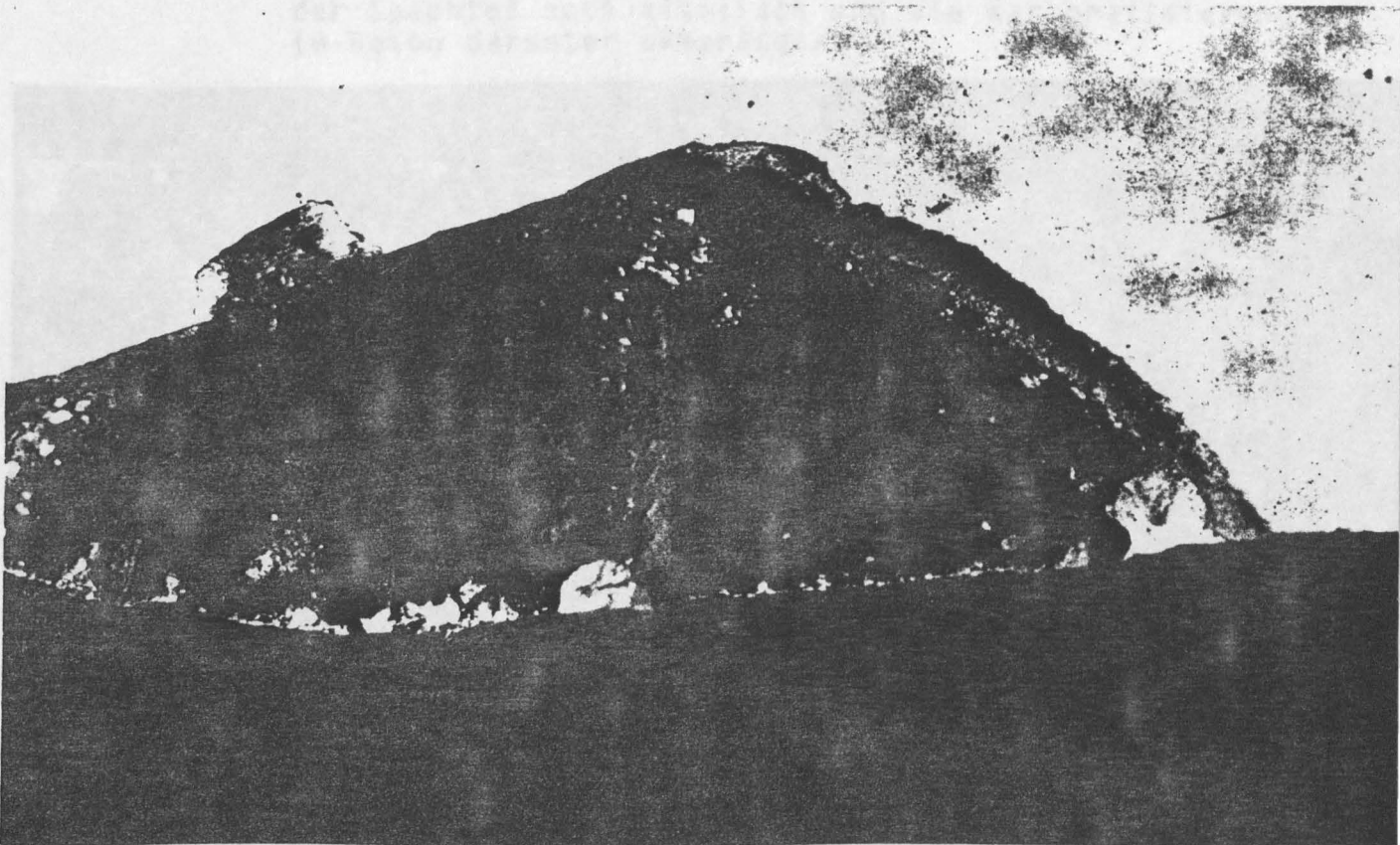


Abb. 44 Gleiche Fehlstelle wie Abb. 43 nach Besprühen mit
Phenolphthaleinlösung. Keine Karbonatisierung

Abb. 45 Flächiges Abblösen einer dünnen Feinmörtelschicht auf
unzureichend vorbereiteter Betonoberfläche. Im Bereich
der Reparaturstelle lässt sich der Feinmörtel nicht von
Betonoberfläche abheben (bei 28-tägiger Lagerung)



Abb. 45 Dünne Feinmörtelschicht (mit Deckanstrich) auf einem Beton, der 2,5 Jahre vor der Beschichtung freibewittert war. Nach weiteren 4 Jahren Freibewitterung ist der Spachtel noch alkalisch und die Karbonatisierung im Beton darunter unverändert

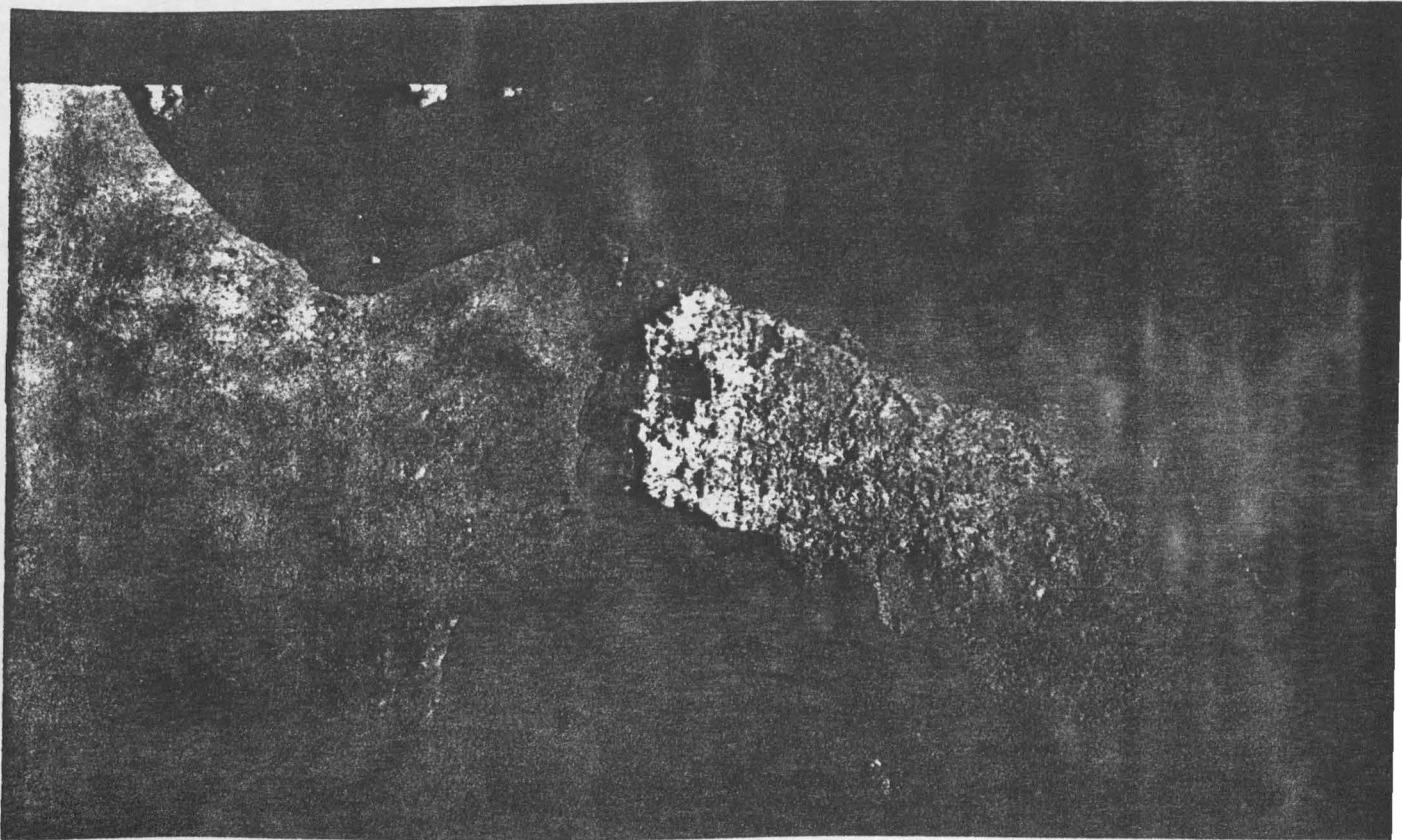


Abb. 46 Flächiges Ablösen einer dünnen Feinmörtelschicht auf unzureichend vorbehandelter Betonoberfläche. Im Bereich der Reparaturstelle ließ sich der Feinmörtel nicht vom Reparaturmörtel abstemmen (Der Pfeil bezeichnet die Grenzlinie zwischen Beton und Reparaturmörtel)

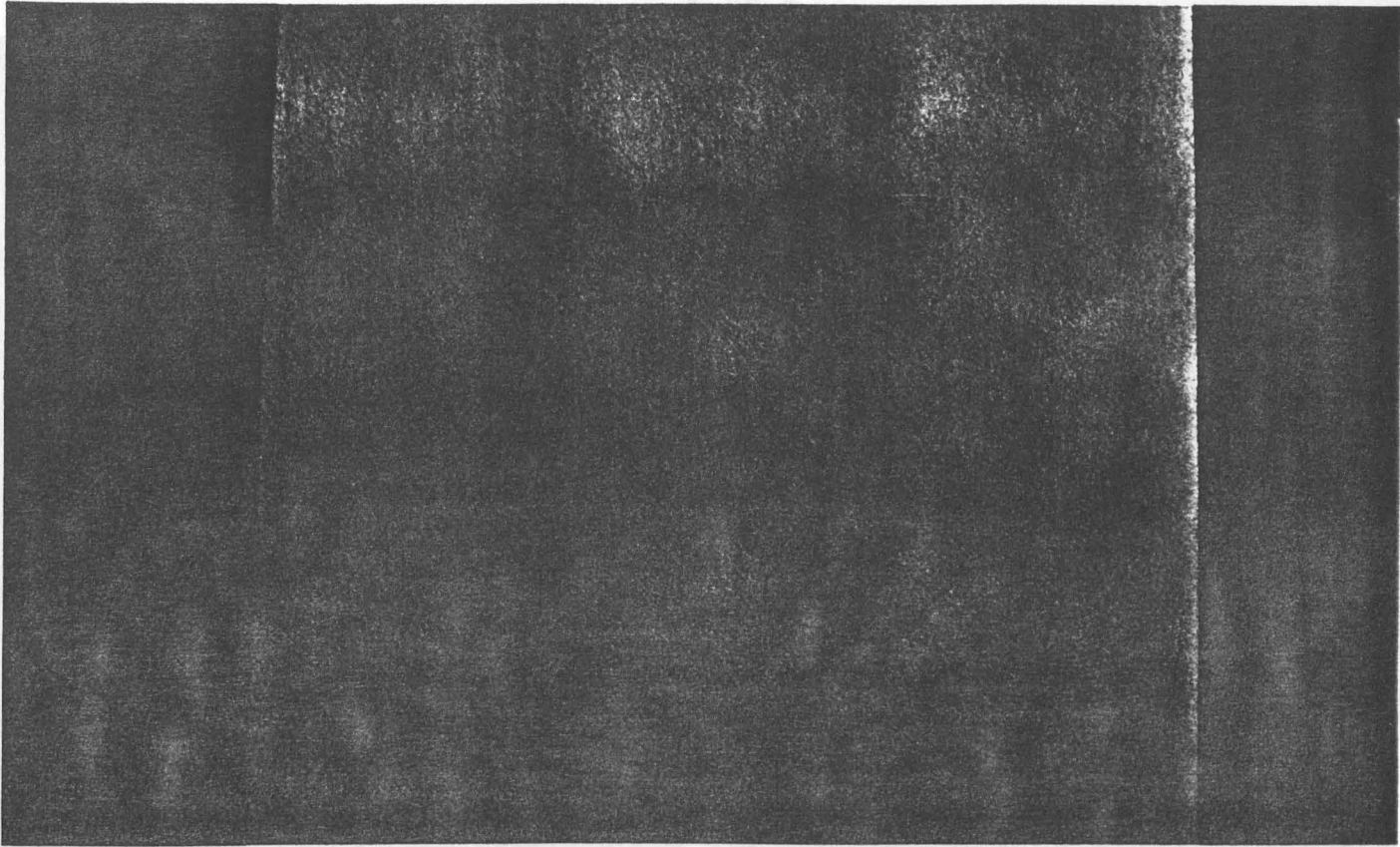


Abb. 47 Völlig intakte Probeplatte mit instandgesetzter Fehl-
stelle nach 4-jähriger Freibewitterung

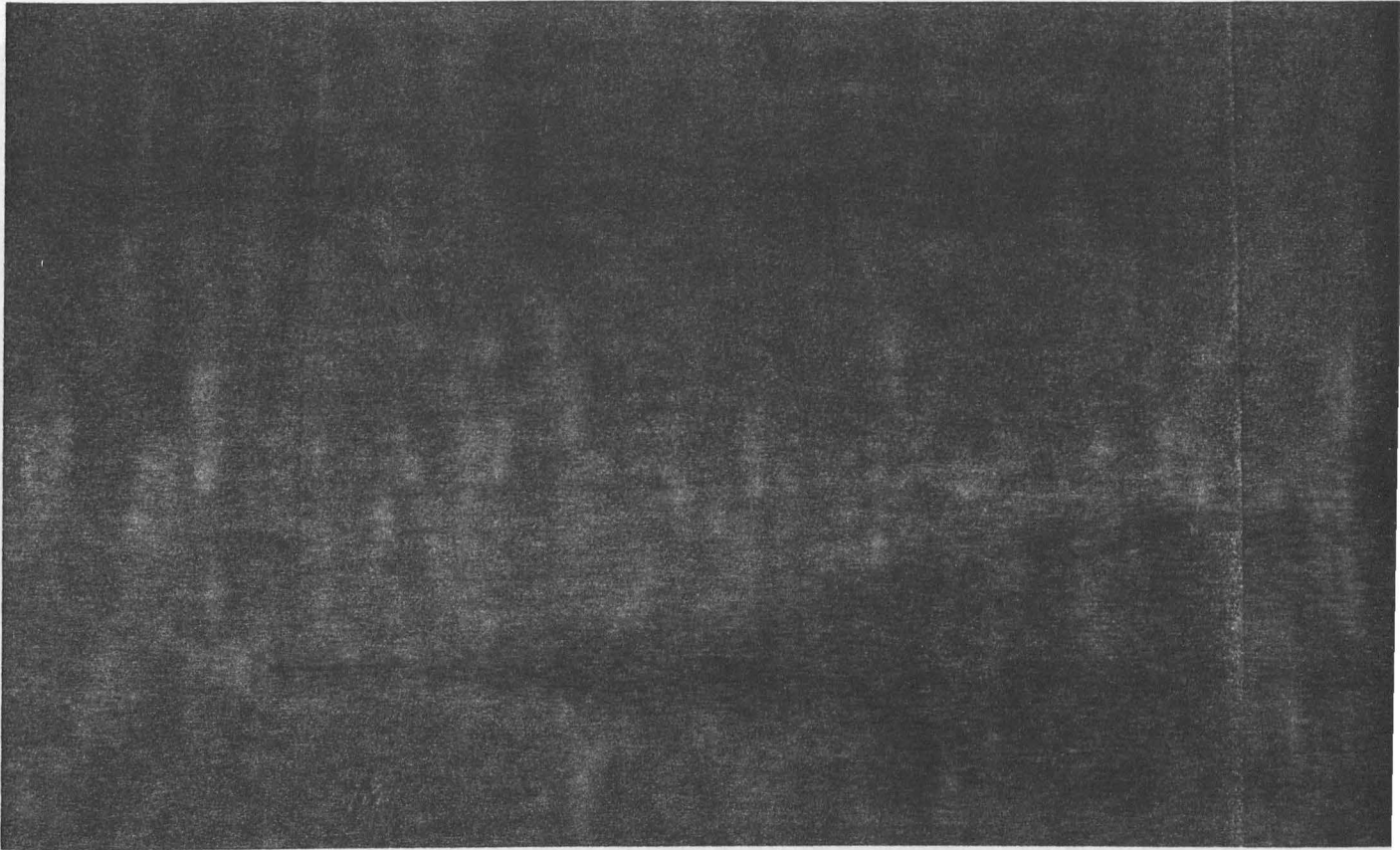


Abb. 48 Völlig intakte Probeplatte mit instandgesetzter Fehl-
stelle nach 4-jähriger Freibewitterung

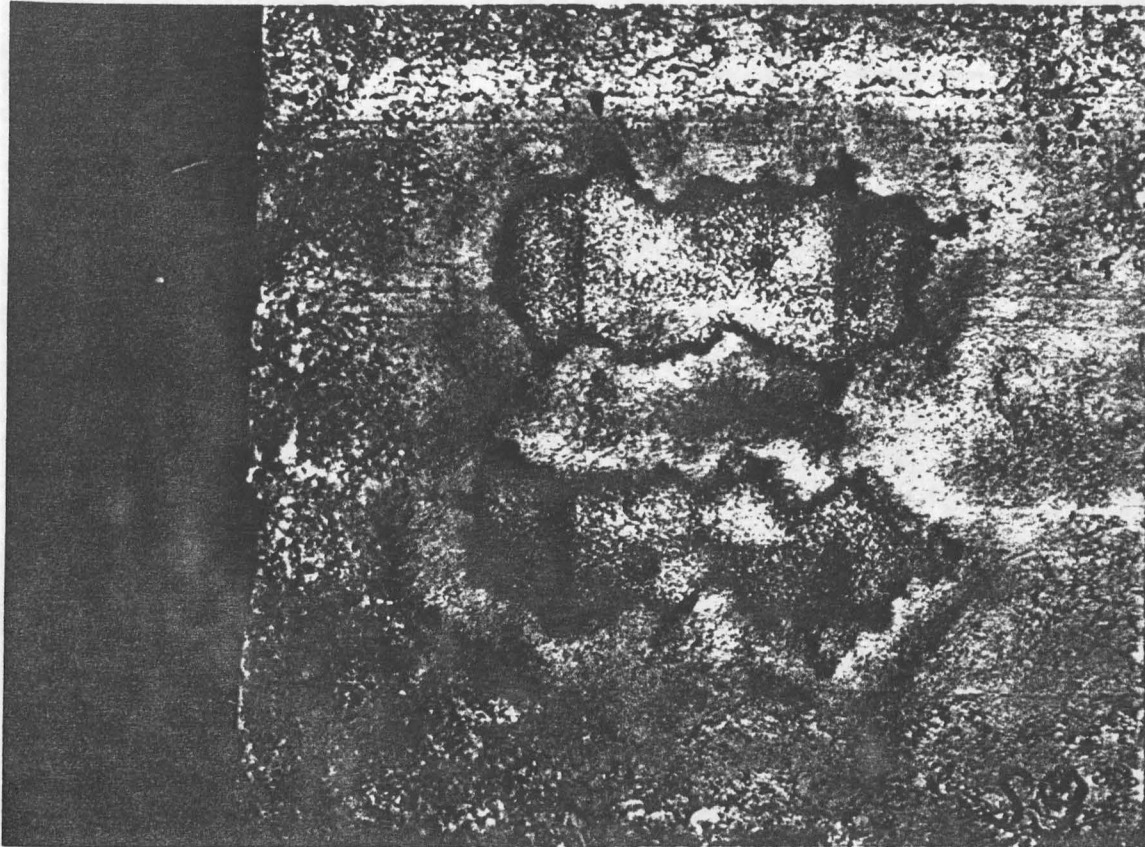


Abb. 49 Ausfüllen einer künstlichen Fehlstelle mit rißanfälligem Reparaturmörtel (vgl. Abb. 50 - 52)

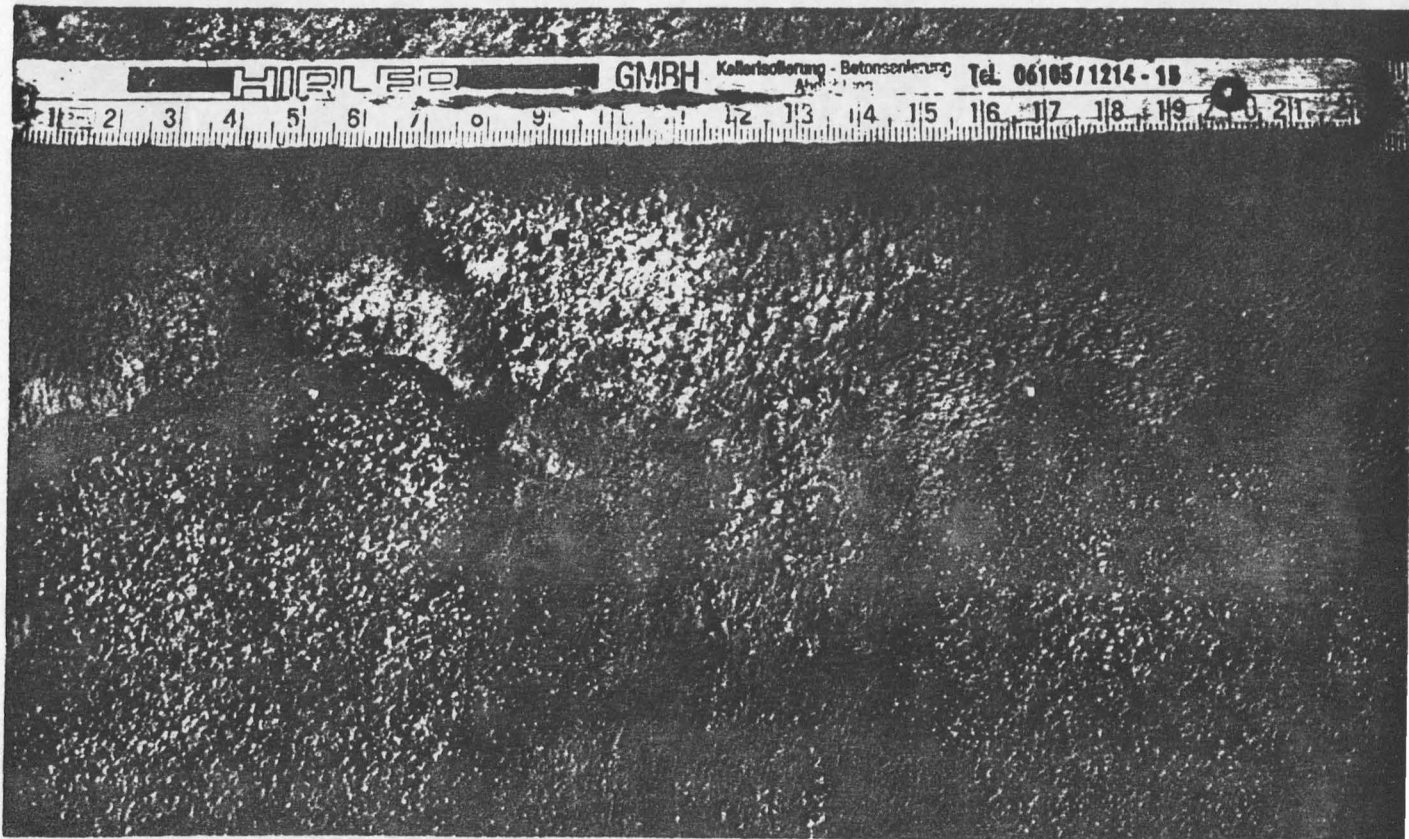


Abb. 50 Details aus Abb. 49, Risse an der Grenzfläche Altbeton/Mörtel

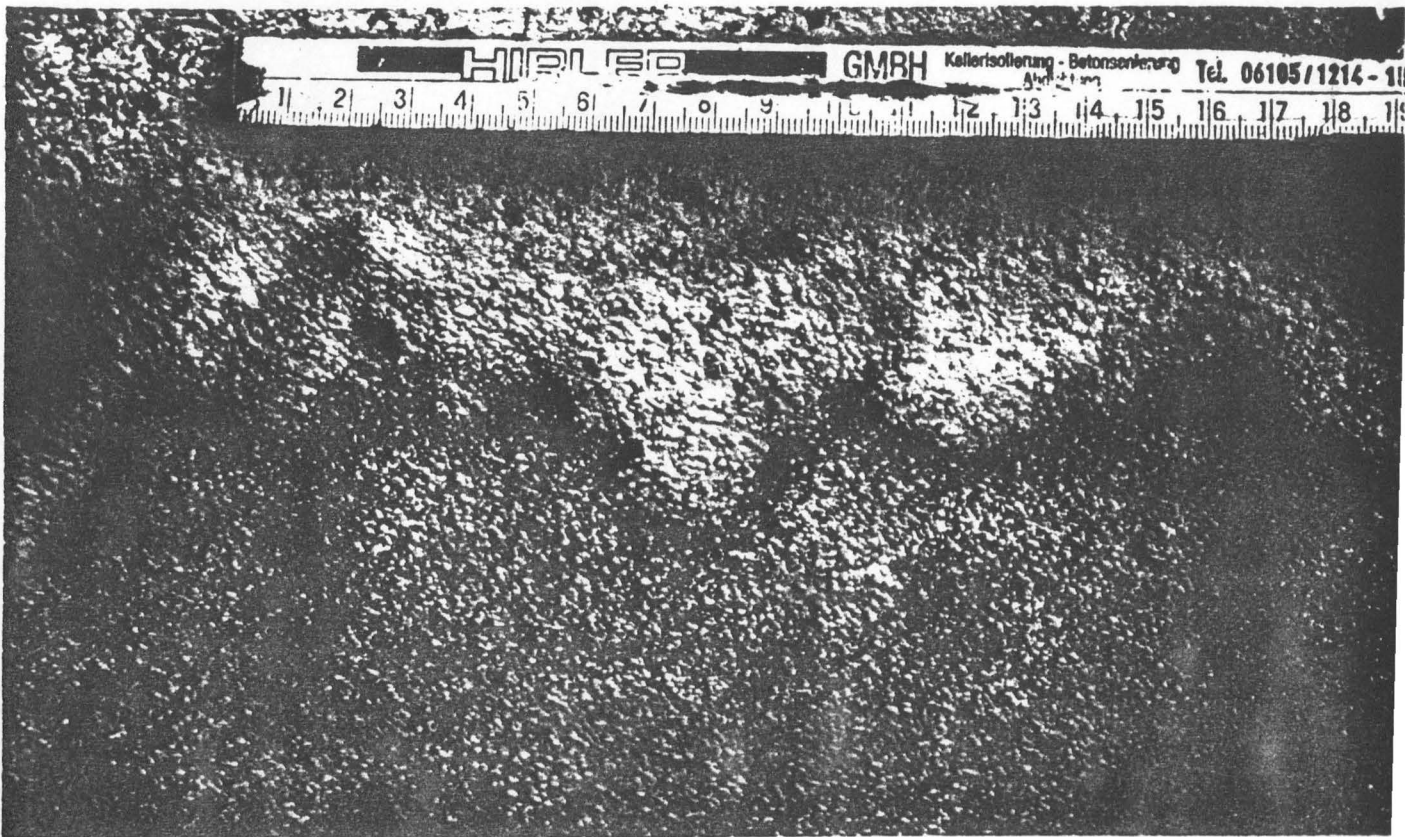


Abb. 51 Details aus Abb. 49, Risse über den Bewehrungsstählen

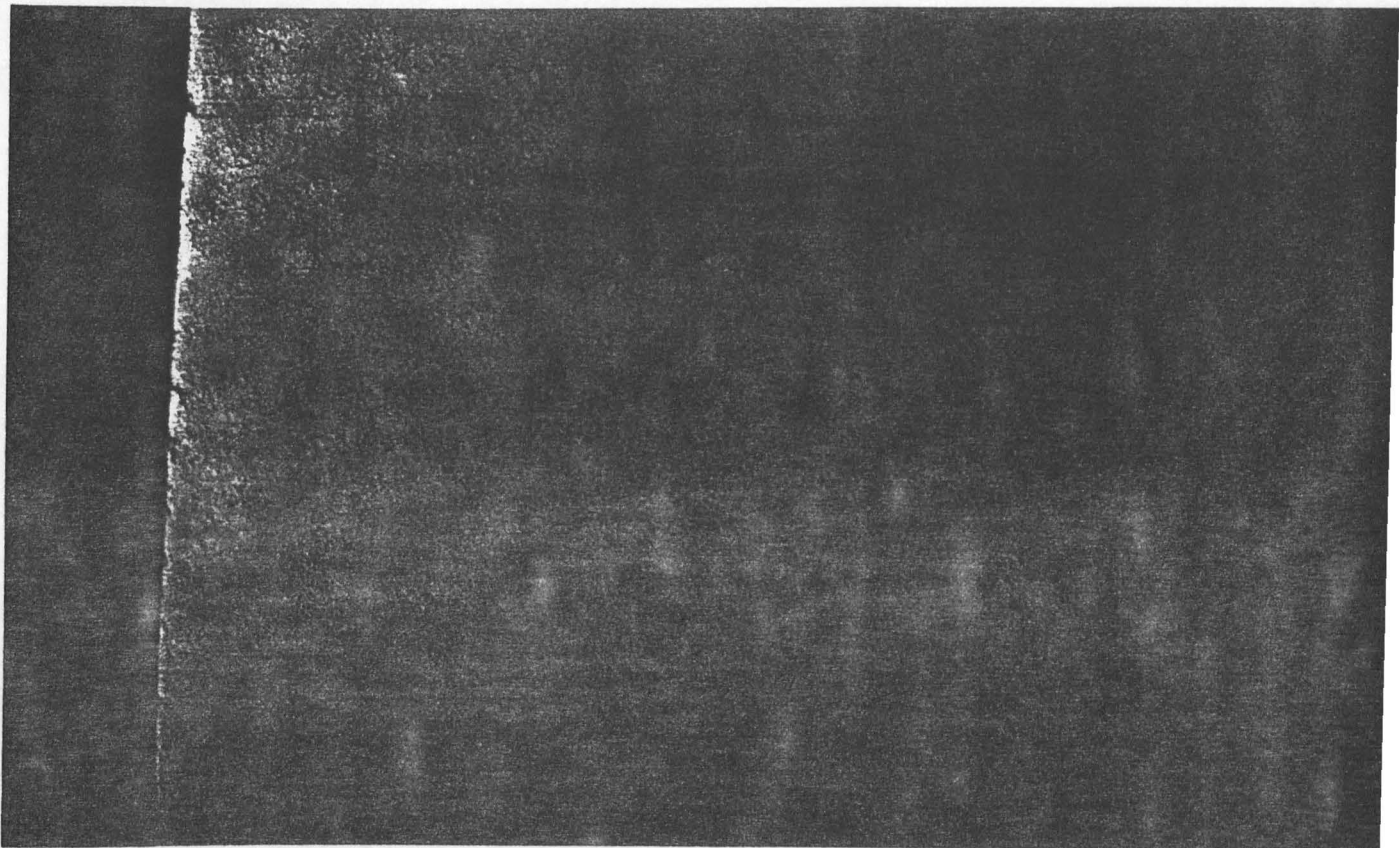


Abb. 52 Probekörper von Abb. 49 nach 4 Jahren Freibewitterung. Der hochwertige Deckanstrich (direkt auf die Fläche der Abb. 49) hat die Schwäche des Mörtels bisher kaschieren können